

جونجو ماكفادن

الحياة بسيطة

كيف حرّرت شفرةُ أوكام العلمَ وفتحت آفاقَ الكون

ترجمة عبد الفتاح عبد الله


تليجرام
مكتبة سور الأزبكية

الحياة بسيطة

كيف حرَّرت شفرةُ أوكام العلمَ وفتحت آفاقَ الكون

تأليف
جونجو مكفادِن

ترجمة
عبد الفتاح عبد الله

مراجعة
مصطفى محمد فؤاد



الحياة بسيطة

جونجو مكفادِن

Life is Simple

Johnjoe McFadden

الناشر مؤسسة هنداوي
المشهرة برقم ١٠٥٨٥٩٧٠ بتاريخ ٢٦ / ١ / ٢٠١٧

يورك هاوس، شييت ستريت، وندسور، SL4 1DD، المملكة المتحدة
تليفون: ٨٣٢٥٢٢ ١٧٥٣ (٠) ٤٤ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: https://www.hindawi.org

إنَّ مؤسسة هنداوي غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره، وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه.

تصميم الغلاف: ولاء الشاهد

الترقيم الدولي: ٩٧٨ ١ ٥٢٧٣ ٢٩٥٤ ٦

صدر الكتاب الأصلي باللغة الإنجليزية عام ٢٠٢١.
صدرت هذه الترجمة عن مؤسسة هنداوي عام ٢٠٢٢.

المحتويات

الإهداء	٧
شكر وتقدير	٩
مقدمة	١١
الجزء الأول: الاكتشاف	٢١
١- عن العلماء والمهرطِقين	٢٣
٢- فيزياء الرب	٤١
٣- الشفرة	٥٥
٤- ما مدى بساطة الحقوق؟	٧١
٥- الشعلة	٨٣
٦- فترة الكساد الفكري	٩٥
الجزء الثاني: الانطلاق	١١٣
٧- كونٌ شمسيُّ المركزِ لكنه مُحكَم	١١٥
٨- تقسيم الدوائر	١٢٧
٩- نقْلُ البساطةِ إلى الأجسام الأرضية	١٥١
١٠- الذرات والأرواح العارفة	١٦٣
١١- مفهوم الحركة	١٨٥
١٢- الاستفادة من مفهوم الحركة	١٩٥

الجزء الثالث: شفرات الحياة ٢٠٧

١٣- الشرارة الحيوية ٢٠٩

١٤- التوجُّه الحيوي للحياة ٢٣١

١٥- حول البازلاء وزهور الربيع والذباب والقوارض العمياء ٢٥٧

الجزء الرابع: الشفرة الكونية ٢٧٣

١٦- هل عالَمُنا هو الأفضلُ في كل العوالم الممكنة؟ ٢٧٥

١٧- كمٌّ من البساطة ٢٨٩

١٨- آلية عمل الشفرة ٣٠٥

١٩- هل عالَمنا هو الأبسط من بين كل العوالم الممكنة؟ ٣١٩

خاتمة ٣٤٣

ملاحظات ٣٤٧

مصادر الصور ٣٦٩

الإهداء

أُهدي هذا الكتابَ إلى بِن وأولي اللذَين ساعداني
في الحفاظِ على سلامة قواي العقلية.

شكر وتقدير

أود أن أشكر كلَّ أولئك الذين تكرَّموا وقرءوا بعضَ مسوَّدات هذا الكتاب أو كلها وعلَّقوا عليها، بمَن فيهم (من دون ترتيب معيَّن) شارون كاي، ومايكل بروكس، وجون جريبين، وبرنارد في لايتمان، وجيم الخليلي، وجيني بيليتيه، وروندو كيلي، ومارك بالين، وفيليب بولمان، وميشيل كولينز، وتوم ماكليش، وباتريشيا فارا، وجينفير دين، وسيب فالك، وروبن هيدلام ويلز، وسارا إل أكلمان، وجريج نولز، وتانيا بارون، وفيليب كيم، وأكسل ثيوريل.

وأود أن أخصَّ بالشكر وكيلي باتريك والش، وكذا فريقه البديع لإخلاصهم في الإيمان بقصة ويليام الأوكامي وشفرته عبْر أوقات عصيبة للغاية. وأخيرًا، أود أن أشكرَ محرِّريَّ البارعِين جيمي كولمان، وسارا كارو، وكارولين ويستمور، ومارتن براينت، فيما أستبقي لنفسي مسئوليةَ أي أخطاء في هذا العمل.

مقدمة

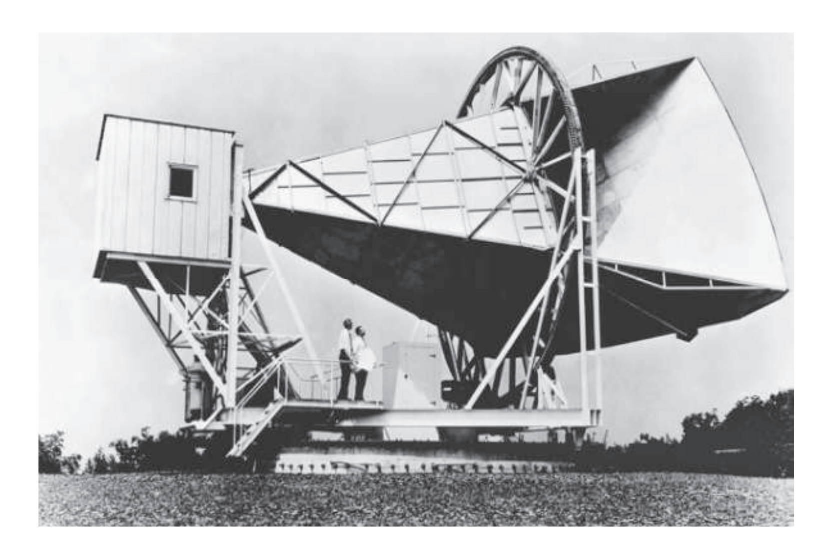
نحن الآن في شهر مايو لعام ١٩٦٤. يقف اثنان من الفيزيائيِّين الأمريكيِّين إلى جوار جهازٍ علمي بحجم شاحنة. يعلو الجهاز — الذي يتخذ شكلَ بوقٍ أذنيٍّ عملاقٍ — منحدر تلٍّ منخفضًا فوق بلدة صغيرة تُدعى هولمدل في نيو جيرسي. كلا الرجلين في منتصف الثلاثينيات من عمرهما. آرنو بينزيس — الذي وُلِد في أسرة يهودية بافارية فرَّت إلى حي ذا برونكس في عام ١٩٣٩ — يتميَّز بطول قامته، ويلبَس نظارةً، وشعره منحسر عن جبهته. وروبرت وودرو ويلسون من هيوستن، تكساس يتميَّز بطول القامة أيضًا، ولحيتُه داكنة اللون، وأصلع. التقى الثنائي في مؤتمرٍ قبل عامين فقط. وقد انسجما معًا ببراعة رغم أن بينزيس كثيرُ الكلام جدًّا، وويلسون خجول ومتردِّد. وقد انضمَّا إلى مختبرات بيل الشهيرة عالميًّا ليعملا على مشروعٍ لرسم النجوم باستخدام الموجات الدقيقة (موجات الميكروويف). كلاهما يحدِّق إلى السماء. وكلاهما مشدوه.

اكتُشِفت الموجات الدقيقة — أو الإشعاع بأطوالٍ موجية بين الملِّيمتر والمتر — قبل قرن تقريبًا وأصبحت موضوعًا مثيرًا حين حاول علماءُ الحرب العالمية الثانية العسكريون تسخيرَ هذه الموجات من أجل أجهزة الرادار، وحاولوا صناعةَ أسلحة شعاعية قادرةٍ على إسقاط صواريخ العدو. وبعد الحرب، أبدت شركات الاتصالات اهتمامَها بتلك الموجات بعد أن تمكَّن الفيزيائي روبرت إتش ديكي — الذي كان يعمل في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا الذائع الصيت عالميًّا — من تصميمِ جهاز استقبال فعَّال قادر على كشف الموجات الدقيقة. وفي ظل إتاحة كلٍّ من جهاز الإرسال وجهاز الكشف، كانت وسيلةٌ جديدة للاتصال اللاسلكي قد أصبحت تلوح في الأفق.

في عام ١٩٥٩، صنعت مختبراتُ بيل هوائي بوق هولمدل لتكشفَ به الموجاتِ الدقيقة التي ترتد عن الأقمار الصناعية. إلا أن جذوة الاهتمام بهذا الأمر خبَت وتحوَّلت إلى تقنيات الاتصال اللاسلكي البديلة؛ لذا عمدت مختبراتُ بيل إلى إقراض الهوائي إلى العلماء الذين بإمكانهم الاستفادةُ على نحوٍ جيد من بوق الموجات الدقيقة العملاق. وخطَّط كلٌّ من بينزيس وويلسون لرسم نجوم السماء. وفي العشرين من شهر مايو لعام ١٩٦٤ صعدا إلى حجرة التحكُّم — وهي شيء أشبهُ بسقيفة حديقة مرتفعة متصلة بالطرف الخلفي للبوق — ووجَّها الهوائي تجاه السماء. لكنهما حيثما كانا ينظران، حتى حين كانا يوجِّهان الهوائي العملاق تجاه مناطقَ مظلمةٍ من سماء الليل والتي لا يوجد بها سوى قلة من النجوم، كانا يسمعان ضجيجًا خفيضًا في الخلفية، صوت تشوُّش أو هسهسة.[1] وقد ذُهِل الرجلان لذلك.

كان أول تخمينهما أن الصوت هو تداخل من نوعٍ ما من مصدرٍ محلي للموجات الدقيقة. فأخذا يتفقدان الأمرَ واستبعدا مدينة نيويورك، والتجارب النووية، والمنشأة العسكرية القريبة منهما والاضطرابات الجوية. وبعد أن زحفا إلى داخل هوائيِّهما، اكتشفا زوجي حمَام مقيمين فيه، وظنَّا أن رَوثهما هو ما يسبِّب ذلك. فوضعا الأشراك وأزالا روثهما، لكن حين ظلَّت الحمامتان تعودان، ركن العلماءُ إلى إطلاق النار عليهما. لكن حتى بعد قتلهما، ظلَّ البوق يصدر هسهسةً على نحوٍ منتظِم، أينما وجَّها جهازهما في سماء الليل المظلمة.

تقع جامعة برينستون على بُعد ساعة واحدة تقريبًا بالسيارة من هولمدل. وبعد الحرب، انتقل روبرت ديكي إلى هناك ليلقي المحاضرات ويقودَ مجموعةً بحثية تركِّز على فيزياء الجزيئات، وأشعة الليزر وعلم الكون. وقد تخصَّص مختبره في تطوير أجهزةٍ حسَّاسة لاختبار التنبؤات الكونية لنظرية أينشتاين العامة عن النسبية. حينها كان عِلم الكون يمثِّل ميدانَ تنافُس لمجموعتين من المنظِّرين كانتا تتباريان من أجلِ تفسير اكتشاف إدوين هابل المذهل، والذي كان قد جرى قبل عدة عقود، ومفادُه أن الكون يتمدَّد. فضَّل أحد هذين المعسكرين نظريةَ الحالة المستقرة، التي تقول بأن الكون لطالما كان يتمدَّد، وميزانه في ذلك الخلق المستمر لمادةٍ جديدة في فضاءاته. أما معسكر المنظِّرين المنافِس — وهو عبارة عن مجموعةٍ كانت تشمل ديكي — فأخذ نظريةَ التمدُّد بمعناها الظاهري وسار بها عكسَ الزمنِ ليفترض أن الكون قبل ما يقرُب من أربعة عشر مليار عام لا بد أنه قد انبثق إلى الوجود نتيجةَ انفجار عنيف بدأ من نقطةٍ متناهية الصِّغر.



شكل ١: هوائي البوق الخاص بمختبرات بيل في هولمدل بنيو جيرسي، وبجواره كلٌّ من آرنو بينزيس وروبرت ويلسون.

كمَنَت المشكلة في أنه لم يكن من السهل التمييزُ بين النظريتين المتنافستين؛ حيث قدَّمتا تنبؤاتٍ متشابهة للغاية. ومع ذلك، فقد أدرك ديكي أن الكون الذي انفجر ينبغي له أن يكون قد خلَّف مدفعًا كونيًّا من نوعٍ ما يبعث الدخان في شكل سحابة متماثلة من إشعاع موجات دقيقة منخفض الطاقة. ورأى أن نوعيةَ أجهزة كشف الرادار التي طوَّرها في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا يمكن أن تُعدَّل لكشف سحابة الطاقة الكونية. إلا أن إشعاع الموجات الدقيقة سيكون خافتًا للغاية، وأضعفَ بكثيرٍ من أي إشارة رادار أو إشارة لاسلكية. وسيتطلَّب كشفُ هذا الإشعاع جيلًا جديدًا من أجهزة كشف الموجات الدقيقة العالية الحساسية. فعزَم ديكي ومجموعتُه في جامعة برينستون على صناعةِ واحدٍ منها.

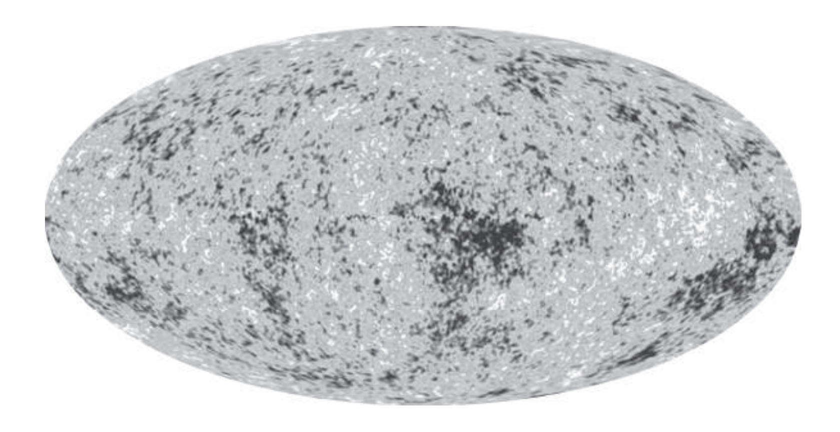
وعلى مدى الشهور والسنين، عقدَ أعضاء المجموعة مناقشاتٍ بحثيةً تصفُ ما يحرزونه من تقدُّم مطَّرد. وقد حضر زميل لكلٍّ من بينزيس وويلسون أحدَ هذه الاجتماعات ونقلَ لهما أخبارًا عن جهود فريق جامعة برينستون. فهل يمكن أن تكون الهسهسة المتكرِّرة الناجمة عن الموجات الدقيقة في هوائي البوق هي الإشارة التي كان يبحث عنها ديكي؟ قرَّر بينزيس أن يتحدَّث هاتفيًّا إلى روبرت ديكي. وحدث ذلك حين كان ديكي يُجري

«اجتماع غداء غير رسمي» في مكتبه بجامعة برينستون. يتذكَّر زملاءُ ديكي أنه رفع سماعة الهاتف وأخذ يستمع بإنصات، وكان بين الحين والآخر يكرِّر عباراتٍ من قبيل «هوائي البوق» أو «ضوضاء زائدة» ويومئ لذلك. وفي النهاية، وبعد أن وضع سماعة الهاتف، التفت إلى مجموعته وقال: «في الواقع أيها الرجال، لقد سبقَنا آخرون». وأدرك ديكي أن بينزيس وويلسون كانا قد اكتشفا الانفجارَ العظيم.

في اليوم التالي، انطلق ديكي وفريقُه إلى مختبرات بيل ليتفقَّدوا هوائي البوق ويمعِنوا النظر في البيانات المسجَّلة. وعادوا وهم مقتنعون بأن بينزيس وويلسون اكتشفا بالفعل بقايا الموجات الدقيقة التي نجمَت عن الانفجار العظيم. وكان أكثر ما أذهل كلا الفريقين هو سلاسة إشعاع الخلفية الكونية، كما سُمِّيت لاحقًا. وبقدْر ما أمكنهم معرفته، فإن تلك الموجات كانت على مقدارِ الكثافة نفسِه في أي مكان كانوا يبحثون فيه في السماء. وهذا الاكتشاف أدَّى إلى أن يحوز بينزيس وويلسون جائزةَ نوبل في عام ١٩٧٨. وبعد ما يقرُب من عقدٍ من الزمن، أطلقت وكالة ناسا القمر الصناعي «مستكشف الخلفية الكونية» ليقدِّم قياساتٍ أكثرَ دقة واكتشفت وجود تموُّجات خافتة في إشعاع الخلفية الكونية، مع وجود تفاوت في كثافةِ الإشعاع بأقلَّ من جزء واحد في كل مائة ألف جزء. وهذا أقل بكثيرٍ من التفاوت الذي قد تراه في بياضِ أنصعِ ورقة بيضاء رأيتها من قبل في حياتك. وبعد هذا بعقدٍ من الزمن؛ أي في عام ١٩٩٨، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية جهاز كشْف الموجات الدقيقة الخاص بها والذي يُدعى مرصد بلانك الفضائي، وأكدت وجودَ كلٍّ من التموُّجات الخافتة والتماثل الاستثنائي لإشعاع الخلفية الكونية.

وإشعاع الخلفية الكونية هو صورة فوتوغرافية من نوعٍ ما أُخِذَت للكون حين كان حجمه أقلَّ من حجم مجرة درب التبانة. ويخبرنا عامل التماثل فيه أن كوننا كان بسيطًا في تلك اللحظة حين انبثقت أولى دفقات الضوء من تريليونات الذرات فيه. في واقع الأمر، يظل إشعاع الخلفية الكونية هو أبسط شيء معروف لنا اليوم؛ أبسط حتى من ذرة واحدة. ويمكن أن نصفه بعددٍ واحد فقط وهو ٠٫٠٠٠٠١، وهو عدد يشير إلى درجة التفاوت في كثافة تموُّجاته. وكما علَّق مؤخرًا نيل توروك — وهو المدير الفخري لمعهد بيرمتر للفيزياء النظرية بأونتاريو في كندا — فإن إشعاع الخلفية الكونية يخبرنا بأن «الكون تبيَّن أنه بسيط بصورة مذهلة ... [بدرجةٍ كبيرة حتى] إننا لا نعرف كيف أفلتت الطبيعة بذلك.»[2]

«يتذكَّر» الكون بدايته البسيطة حتى إن أساساته تظل بسيطة؛ وذلك بعد مرور أربعة عشر مليار عام على الانفجار العظيم. يسعى هذا الكتاب لاستكشاف تلك الأساسات



شكل ٢: إشعاع الخلفية الكونية.

— أي، اللبنات البسيطة لكوننا — من خلال أداةٍ تُعرف باسم «شفرة أوكام»، التي سُمِّيت تيمنًا براهبٍ فرنسيسكاني يُدعى ويليام الأوكامي، الذي عاش قبل بينزيس وويلسون بسبعة قرون.

بدأ اهتمامي بأمر البساطة هذا أثناء اجتماعٍ بحثيٍّ خاص بعلم الأحياء عُقِد في مكان عملي بجامعة سوري في المملكة المتحدة، في غضون الوقت الذي أطلقت فيه وكالة الفضاء الأوروبية مرصدها بلانك لقياس إشعاع الخلفية الكونية. هناك استمعت إلى حديثٍ ذي عنوان مثير يقول «ليس لشفرة أوكام مكانٌ في علم الأحياء» قدَّمه صديقي وزميلي هانس ويسترهوف. وكان صُلب حجَّة هانس هو أن الحياة في غاية التعقيد، أو كما وصفها هانس «معقَّدة بشكل غير قابل للاختزال» بحيث لا يمكن لشفرة أوكام أن تكون ذات أدنى فائدة. في ذلك الوقت؛ أي قبل ما يزيد عن عَقدين من الزمن، لم أكن أعرف شيئًا عن أوكام، وبالكاد كنت أعرف بعضَ المعلومات عن شفرته؛ لكنني أتذكَّر أنني كنت أقود سيارتي مارًّا بلافتة على الطريق تشير إلى قرية أوكام وأنا في طريقي للعمل كل يوم. وكانت المصادفة كافية لإثارة اهتمامي وإقناعي بأن أفتِّش في شبكة الإنترنت ذلك المساء لأرى إن كان باستطاعتي إيجاد أي معلومات قد تنقذ سمعة شفرتنا المحلِّية الملهمة.

وسرعان ما كشف بحثي أن الشفرة كانت قد سُمِّيت بالفعل تيمنًا بويليام الأوكامي، الذي وُلد في القرية المجاورة في مقاطعة سوري في أواخر القرن الثالث عشر الميلادي. وبعد أن انضم لرهبان الفرنسيسكان، درس اللاهوت في جامعة أكسفورد حيث طوَّر تفضيله

لأبسط الحلول. لم تكن تلك الفكرة جديدةً بالكلية، لكنَّ تطبيق الأوكامي الحازم لذلك المبدأ لتقويض جانب كبير من فلسفة العصور الوسطى أصبح شهيرًا للغاية، حتى إنَّ عالِم اللاهوت الفرنسي ليبير فرومون صاغ المصطلح «شفرة أوكام»، بعد ثلاثة قرون من وفاته، ليشير إلى تفضيل ويليام للتخلص من التعقيد الزائد عن الحد.[3]

واليوم، يُعرف المصطلح في شكله «لا ينبغي الإكثار من الكِيانات لما يتجاوز الضروري». وتشير كلمة «الكِيانات» هنا إلى أجزاء الفرضيات والتفسيرات أو النماذج الخاصة بأي نظامٍ بعينه. وهكذا، فإن اكتشفْتَ على نحوٍ غير متوقَّع موجاتٍ دقيقة في هوائي البوق الخاص بك، فابحث عن كيانات مألوفة لتفسير هذه الظاهرة، كمنشآت رادار أو حمَام، قبل أن تتصوَّر كيانات جديدة، مثل نظرية الانفجار العظيم. وعلى قدْر علمِنا، لم يعبِّر ويليام أبدًا عن تفضيله للتقتير بالشكل نفسه الذي ذكرناه بالأعلى، لكنه عبَّر عن الميل نفسه في جملٍ من قبيل «لا ينبغي الإكثار من شيء دون أن تقتضي الحاجة ذلك» أو «من العبث استخدام عدد أكبر إن أمكن استخدام عدد أقل».

وفي المساء التالي للِّقاء البحثي الذي عقده هانس، بدأتُ في جمْع خيوط قصة ويليام، وكلما جمعت المزيد منها، أصبحت القصة مذهلة أكثر. فحين بدأت أفكار ويليام تتسرب إلى خارج جامعة أكسفورد — بما في ذلك تقويضه لكل «الأدلة» الراسخة عن وجود الإله — اتُّهم بتدريس الهرطقة واستُدعي إلى مدينة أفينيون ليُحاكم أمام البابا. لكن هناك، تورَّط ويليام في صراعٍ مميت أكثرَ بين البابا ورهبان الفرنسيسكان؛ صراعٍ أثار ويليام ليتهم البابا بالهرطقة وأدَّى به إلى الفِرار من المدينة وفي إثره مجموعة من جنود البابوية تطارده.

كانت هذه الأحداث آسرة للانتباه، لكنني كنت قد حصلت بالفعل على ما يكفي من ذخيرة للدفاع عن بطلنا المحلي. وفي حديثي الذي قدَّمته في اليوم التالي، أشرت إلى أن الشفرة — في أكثر صياغاتها المعروفة — تشدِّد فقط على أن «لا ينبغي الإكثار من الكيانات لما يتجاوز الضروري». وعبارة «لما يتجاوز الضرورة» هنا هي عبارة فضفاضة. فإن فشِلت كل التفسيرات البسيطة لإحدى الظواهر، فإن الشفرة تعطيك رخصةً كاملة في ابتكار مفاهيم غير معقولة بقدرِ ما تحتاج — كالادعاء بأن العالم انبثق من نقطةٍ متناهية الصِّغر من العدم قبل أربعة عشر مليار عام — من أجل تقديم تفسير لبياناتك. وكما قال شيرلوك هولمز، «بمجرد أن تستبعد المستحيل، ينبغي لما يتبقى أن يكون هو الحقيقة، مهما كان مستبعدًا».[4] وهكذا وردًّا على اعتراض هانس بأن الشفرة ثالمةٌ كثيرًا كأداة بحيث لا يمكن أن تتعاطى مع جوانب علم الأحياء الدقيقة، رددت بأن عبارة «لما يتجاوز الحاجة» تسمح لنا أن نبتكر من الكيانات بقدرِ حاجتنا ما دمنا نقف عند ذلك الحد.

ويستمر صخبُ هذا الجدال بيننا، إلا أنه يسيرُ الآن جنبًا إلى جنب مع إعجابي الشديد بويليام، وبأعماله وبالدَّور الذي لعِبته شفرته في العلوم. لقد قادني بحثي من أروقة جامعة أكسفورد وقصور أفينيون إلى شرارات العلوم الحديثة الأولى في عالم العصور الوسطى. ومن هناك تبِعتُ آثاره حين التقطه عمالقةُ العلم الحديث من كوبرنيكوس إلى كيبلر أو نيوتن أو أينشتاين أو داروين، الذين عبَّروا جميعُهم عن تفضيلهم الحلولَ البسيطة. وقد أقنعتني تلك الرحلة بأن البساطةَ ليست مجرَّد أداة من أدوات العلوم إضافةً إلى التجريب، بل إنها أساسيةٌ في العلوم بقدرِ الأعداد في الرياضيات أو النغمات في الموسيقى. وأعتقد أن البساطةَ في التحليل النهائي هي بالفعل ما يفصِل العلوم عن الطرائق العديدة الأخرى التي نستخدمها في إضفاء معنًى على العالم. في عام ١٩٣٤، أكَّد ألبرت أينشتاين أن «الهدف الأسمى من كل العلوم [هو] تغطيةُ أكبرِ عدد من الحقائق التجريبية بالاستدلال المنطقي باستخدام أصغر عدد ممكن من الفرضيات أو البديهيات».[5] وتساعدنا شفرة أوكام على إيجاد نصف العبارة الأخير المتمثِّل في «أصغر عدد ممكن من الفرضيات أو البديهيات».

ولم ينتهِ عمل شفرة أوكام. فبينما تتحسَّس الفيزياء طريقها تجاه أبسطِ النظريات الممكنة، فإن علماء الأحياء يكافحون من أجل استنباط نظرياتٍ بسيطة من دَفْق البيانات المتسارع الذي ينصبُّ من علم الجينوم والتقنيات المشابهة الأخرى. ويظلُّ كذلك اليوم محلَّ خلاف وجدل بقدرِ ما كان في عصر الأوكامي. فعلماء الإحصاء يتجادلون دومًا بشأن قيمته وأهميته. ومؤخرًا، نشر مجموعةٌ من العلماء الفرنسيين ورقةً بحثية يدفعون فيها بأن النماذج البسيطة — والتي تدعو إليها الشفرة — تمنطق جائحة كوفيد-١٩ التي تجتاح بلدَهم على نحوٍ أفضل من النماذج الضخمة والمعقَّدة التي يستخدمها معظم علماء الأوبئة. وفي طليعة العلوم، تستمر البساطة في تعريفنا بأعمق الرؤى وأكثرها غموضًا وإبهامًا وفي بعض الأحيان إثارة للاضطراب.

ولربما كان أكثر ما يثير الدهشة أنه من الواضح على نحوٍ متزايد أن قيمة شفرة أوكام ليست مقتصرة على العلوم. فقد أكَّد ويليام شكسبير أن «الإيجاز روح الحكمة»، وقد أخذت الحداثةُ ذلك المبدأ في صميمها. فمن الموسيقى التقليلية التي قدَّمها جون كيج إلى خطوط التصميم المعماري البسيطة للمعماري لو كوربوزييه، أو النثر المقتصد لصامويل بيكيت أو خطوط التصميم السلِسة في أجهزة الآي باد، نجد أن الثقافة الحديثة غارقة في البساطة. ونجد صدى شفرة أوكام في نصيحةِ المعماري فان دير روه أن «الأقل هو الأكثر»؛ وتوجيهات عالِم الكمبيوتر بيارن ستروستروب بأن «نبسِّط المهام البسيطة»؛ وملاحظة

الكاتب والطيَّار أنطوان دو سان إكزوبيري التي تقول بأننا «يبدو أننا نصل إلى الكمال ليس حين لا يبقى شيء نضيفه، بل حين لا يبقى شيء نُقصِيه». وفي مجال الهندسة يشتهر هذا المبدأ تحت مسمًّى «دعْه بسيطًا، يا أحمق»، وهو مبدأ في التصميم تبنَّته البحرية الأمريكية في ستينيات القرن العشرين، إلا أنه الآن يُعدُّ مسلَّمًا به عالميًّا، باعتباره أساسيًّا في الهندسة الصوتية. إن العالَم الحديث يرتكز على شفرة أوكام.

كما أريد أن أكون واضحًا أيضًا بشأنِ ما لا أحاول القيامَ به في هذا الكتاب. ليس من أهدافي أن أقدِّم تاريخًا مستفيضًا للعلم. آمُل عوضًا عن ذلك أن أقنعك بقيمةِ شفرة أوكام التي لا تلقى التقدير، وذلك من خلال سردٍ منتقًى للأفكار والابتكارات الأساسية التي تُثبِت أهميتَه وتبيِّن استخداماته. وهذا يعني بالضرورة الحذفَ التامَّ للكثير من الإنجازات المهمة التي قام بها أعظمُ العلماء. أما أولئك القرَّاء الذين قد يشعرون برغبةٍ في سد هذه الثغرات، فأحيلهم فقط إلى بعضٍ من الكتب الممتازة العديدة.[6]

عِلاوة على ذلك، وربما كان هذا أكثرَ أهمية، فإن هذا الكتاب لا يُعَد تأريخًا للعلم بقدرِ ما يُعَد سردًا واستكشافًا لأكبر الأفكار — في داخل مجال العلم وخارجه — والتي استُلهِمت من شفرة أوكام. إذ يبدأ الكتاب في عالَمٍ كان العلم فيه في الأساس فرعًا من فروع علم اللاهوت. قد يبدو هذا غريبًا لنا اليوم، لكن وخلال معظم فترات التاريخ الإنساني، كان هذا المنظور هو السائد. لقد ساعد ويليام الأوكامي وشفرته في تحرير العلم من قيوده اللاهوتية، وفي اعتقادي أن هذا العمل الفذ كان ضروريًّا لمسار التاريخ الإنساني اللاحق. لكن حتى اليوم، يظل العلم سجينَ سياقه الثقافي، ولا يتجلى هذا أكثر إلا حين ننظر في أصوله ومسار تطوُّره. ومن ثَم، فإن هذا الكتاب يستكشف أيضًا العالَم الأوسع الذي تعمل فيه شفرةُ أوكام.

أخيرًا، هناك علمٌ واحد فقط، إلا أن له الكثيرَ من الفروع والجذور المنتشرة التي امتدت إلى بلاد الرافدين القديمة — حيث تتبَّع الفلكيون الأوائل حركاتِ النجوم — وإلى الهند القديمة حيث ابتكروا النظامَ الذي نطلِق عليه الآن الأرقام العربية. وامتدَّت تلك الجذورُ أيضًا إلى الصين القديمة حيث نشأ الكثيرُ من التقنيات كالطباعة بالقوالب الخشبية، وإلى شواطئ إيجة؛ حيث استخدم اليونانيون القدماء الرياضيات لأول مرة لفهْم العالَم وإضفاء معنًى عليه، وكذلك إلى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا حيث حافظ العلماء المسلمون على العلوم اليونانية وأمدُّوا نطاقَها إلى مجالات جديدة كعلوم البصريات والكيمياء. لقد أسهم الملايين من الأشخاص في مئات الأماكن ولمراتٍ لا تُحصى في نظام التفكير البارز هذا الذي

نطلق عليه اليوم العلم الحديث. لكن من المؤسف أن معظم العلماء الذين استَخدمتُ أعمالهم في البرهنة على الدور الذي لعِبته شفرة أوكام هم من رجال الغرب البيض الأثرياء. ليس هناك شكٌّ في أن الناس من كل الأجناس والأعراق قد أسهموا في العلم الحديث، لكن الافتقار إلى الفرص والتحيُّزات والعوائق الاجتماعية تركت إسهاماتهم تلك غير موثَّقة بصورةٍ كبيرة. وقد حاولت أن أدرأ هذا الصدع في الفصول الأخيرة من هذا الكتاب لأبرهن على قناعتي بأن العلم كان، وسيظل، أكثرَ المساعي التعاونية للجنس البشري.

وتبدأ رحلتنا برحلة بحرية.

الجزء الأول

الاكتشاف

الفصل الأول

عن العلماء والمهرطِقين

وجدت الكثيرَ من الأشياء العظيمة التي كانت تُعَد هرطقية ومغلوطة وسخيفة ومضحكة وخيالية وغير معقولة وجارحة، ومناقضة وكذلك مضادة بوضوح للعقيدة القويمة والأخلاق الحميدة والمنطق السليم وخبرات بعينها والمحبة الأخوية. وخلصت إلى وجوب إدراج بعضها هنا.

ويليام الأوكامي، «خطاب إلى رهبنة الإخوة الأصاغر»، ١٣٣٤[1]

هروب

في ليلة السادس والعشرين من شهر مايو لعام ١٣٢٨، انسلَّ ثلاثة من الرهبان — وكانوا حليقي الرأس يرتدون رداء رهبان الفرنسيسكان الرمادي — خارجين من مدينة أفينيون البابوية واتجهوا جنوبًا نحو ميناء مدينة إيج-مورت الصليبي المطلِّ على جانب النهر؛ تلك المدينة التي تبعُد حوالي ستين ميلًا شمال غرب مارسيليا. كان أول هؤلاء هو ميكيله من تشيزينا وهو الكاهن العام لرهبنة الفرنسيسكان والقيِّم على ختمِها. أما الثاني، فكان كبير محامِي الفرنسيسكان ويُدعى بوناجراتيا من برجامو. كان كلاهما معروفًا جيدًا لدى الباباوات والأمراء؛ إذ سافرا كثيرًا بين البلاطات الأوروبية كممثِّلَين لرهبنتهما. أما الهارب الثالث الذي كان عمرُه يقارب الأربعين وذا بنية هزيلة، فكان هو العالِم الإنجليزي ويليام الأوكامي. وعلى الرغم من أنه كان أصغرَ من أخويه الفرنسيسكانيين بأكثر من عَقد من الزمن، فإن أفكاره الخَطِرة كانت قد جرَّت إليه بالفعل سوء السمعة وجعلته يُتهم بالهرطقة. كان ثلاثتهم يفِرون من القضاء البابوي بعد أن اتهموا البابا بكونه مهرطقًا.

ولو أُلقي القبضُ عليهم، لكانوا سيواجهون العزلَ الكنسي أو السَّجن أو حتى موتًا بطيئًا قاسيًا على محرقةِ جثث مشتعلة.

ارتحلت المجموعة في حراسة «خدم مسلَّحين جيدًا».[١] وفي إيج-مورت، التقاهم «جيوفاني جينتل، وهو مواطن من سافونا وقبطان قادس»[2] الذي كان راسيًا في الميناء. مثل تلك السفن — التي تتميَّز بطولها وانخفاضها في الماء والمشابهة في تصميمها لزوارق مدينة البندقية إلا أن هذه أكبر ومزودة بالأشرعة وصفوف من المجاديف — كانت قادرة على اجتياز الأنهار والبحار الضحلة ومِن ثَم كانت شائعةَ الاستخدام في التجارة بين موانئ البحر المتوسط الشمالية. كان الأخوة الرهبان سيشعرون بارتياحٍ كبير بلا شك أنهم صعدوا على متن القادس ولا بد أنهم كانوا يتحرَّقون شوقًا للانطلاق، إلا أن الطقس السيئ وحركة المد والجزر غير المواتية أحبطت هروبهم.

في تلك الأثناء، وبالعودة إلى أفينيون، عُرِف هروبُ هؤلاء الرهبان الثلاثة وأُرسِلت مجموعة من الجنود البابويين لإلقاء القبض عليهم. وصلت فرقةُ الاعتقال — تحت قيادة لورد أرابلي و«بصحبته مجموعةٌ كبيرة من الجنود البابويين والملكيين» — في سكون الليل في حين كان رهبان الفرنسيسكان على متن قادس جينتل الذي كان لا يزال راسيًا في الميناء غيرَ قادر على الإبحار. طالب اللورد بأن يسلِّم قبطانُ السفينة الهاربين. بدا جينتل في البداية متعاونًا، ودعا لورد أرابلي للصعود على متن السفينة. ألقى الموفدُ البابوي القبض رسميًّا على رهبان الفرنسيسكان وهدَّد بتوقيع «أقصى العقوبات» إن رفض جينتل تسليمَهم. وانتهى الرجلان إلى اتفاقٍ يستسلم الرهبان بموجبه إلى السلطات البابوية. لكن وبعد أن ترجَّل لورد أرابلي عن متن القادس، «نشر القبطان أشرعتَه وأبحر سرًّا مبتعِدًا» تحت جُنْح الظلام.

لا بد أن رؤيةَ الجنود البابويين الغاضبين وهم يغيبون وسط الظُّلمة قد أسرَّت رهبانَ الفرنسيسكان المرتعبين. إلا أن فرحَهم هذا لم يدُم طويلًا لأنهم وبعد أن كانوا قد «قطعوا مسافةَ ثلاثين فرسخًا أسفل النهر» (في تلك الآونة كان الميناء يبعُد عن البحر بأميال كثيرة) «تسبَّب التدبير الإلهي في هبوب رياحٍ معاكسة» جعلتهم يعودون عكس التيار، ما أجبر جينتل مرةً ثانية على البحث عن ملاذٍ في متناول الفِرقة البابوية. واستُؤنفت المفاوضاتُ من أجل تسليم رهبان الفرنسيسكان الذين ظلَّوا على متن القادس عدةَ أيام «في هلع شديد». لكن يبدو أن القبطان المراوغ كان يحاول كسْب بعض الوقت؛ لأنه انطلق بقادسه في النهرِ مرة أخرى حين غيَّرت الرياح اتجاهها، وقد وصل هذه المرة إلى عُرض البحر حيث

لقيه «قادسٌ حربي سافوني كبير يقوده شخصٌ يُدعى «لي بيليز»» والذي كان قد تحالف مع إمبراطور الإمبراطورية الرومانية المقدَّسة المنتخَب حديثًا لويس البافاري. رتَّب جينتل نقْلَ الهاربين إلى السفينة الأكبر، وفي يوم الجمعة الموافق ٣ من شهر يونيو أبحر القادسُ الحربي ورُكابه الفرنسيسكان بعيدًا عن متناول البابا المستشيط غضبًا. نجا ويليام، لكن، وعلى قدرِ علمنا، لم يَعُد أبدًا إلى فرنسا أو إلى موطنه إنجلترا.

انتشرت القصة التاريخية لهروب رهبان الفرنسيسكان بعد هروبهم من إيج-مورت. إلا أن بمقدورنا تصوُّر نوعية الرحلة البحرية التي كان سيختبرها ويليام وصديقاه من خلال السرد شبه المعاصر الذي قدَّمه جون دي جوانفيل أثناء مغادرته من الميناء نفسه، والذي صَحِب لويس التاسع في الحملة الصليبية السابعة في عام ١٢٤٨.

> حين صعِدَت الجياد على متن السفينة، نادى ربَّان السفينة على بحَّارته الذين وقفوا في مقدِّمة السفينة وقال لهم: «هل أنتم مستعدُّون؟» فأجابوه: «أجل سيدي». فقال: «فليتقدَّم الكهنة والقساوسة إذن». وبمجرَّد أن تقدَّموا نادى فيهم قائلًا: «انشدوا من أجل الرب»، فأنشدوا جميعًا في صوتٍ رجل واحد ترنيمة «هلم، أيها الروح الخالق». ثم نادى بعدها في بحَّارته: «انشروا الأشرعة من أجل الرب»، ففعلوا. وفي فترةٍ وجيزة كانت الرياح قد حملتنا بعيدًا عن اليابسة، فلم نرَ سوى السماء والمياه ... أقصُّ عليكم هذا حتى يتسنى لكم أن تفهموا كم يجازف الرجل الجريء ... أن يضع نفسه وسط الأخطار المميتة، لكي يتأكد أنك حين ترقُد تريد النومَ ليلًا على متن السفينة، فإنك ترقُد ولا تعلم إن كنت ستجد نفسَك في الصباح في قاع البحر.[3]

إذن لماذا كانت أفكارُ ويليام خَطِرةً للحدِّ الذي دفع البابا إلى تكبُّد كلِّ هذا العَناء في محاولة القبض عليه؟ لكي نفهم هذا، نحن بحاجةٍ لأن ندلِف إلى داخل العقلية البالية لعالم العصور الوسطى.

وُلِد ويليام حوالي عام ١٢٨٨ في أوكام، وهي قريةٌ صغيرة بمقاطعة سوري على بُعد مسيرة يوم ركوبًا تقريبًا جنوب غرب لندن. وليس هناك رواياتٌ معاصرة لتلك الفترة عن تلك القرية عدا إدخال القرية في «كتاب وينتشستر» الذي كُتِب عام ١٠٨٦؛ أي بعد عشرين عامًا على غزو النورمان لإنجلترا وقبل مائتي عام من ولادة ويليام. قد يبدو هذا

زمنًا طويلًا، لكن بعد وقوع الفوضى بعد الغزو مباشرة، كانت وتيرة التغيُّر في إنجلترا في العصور الوسطى أبطأ بكثير مما هي عليه اليوم، وعلى حد علمنا، ظلَّت أوكام الضَّيعة أو القرية المتواضعة نفسها كما وصفها الاستيطان باسم بوكهام تحت مسمَّاها الأنجلو ساكسوني. كانت القرية توفِّر مرعًى لستٍّ وعشرين بقرة، وغابة تنتج جوز البلوط الكافي لإطعام نحو أربعين خنزيرًا، وحقولًا كافية لدعم حوالي عشرين أسرة وطاحونة. لربما كانت أقدمُ ملامح سرد «كتاب وينتشستر» هي كيفية وصف الكتاب لقاطني القرية من البشر؛ حيث ذكر أنهم كانوا «اثنين وثلاثين من الفلاحين نصف الأحرار وأربعة أُجَراء … وثلاثة عبيد». هذه هي كل الفئات العاملة الذين كانوا يعملون لصالح سيِّدهم من دون أجر، وكانوا يُباعون ويُشترَون مع الضَّيعة الإقطاعية. ولم يكن هناك ذِكر لأحد باسمه عدا رجل واحد حر كان اسمه الأنجلو ساكسوني هو جاندريد. كانت قيمة الضَّيعة الإقطاعية كلِّها تساوي خمسة عشر جنيهًا، وهذا تقريبًا يساوي ثمانية أضعاف ما يمكن أن يجنيه العامل في العام الواحد.

الحقيقة الراسخة الأولى التي نعرفها عن ويليام أنه وُهِب إلى رهبنة الفرنسيسكان، وعلى الأرجح أن عمره حينها كان يقارب الحادية عشرة. كان هذا الأمرُ شائعًا نسبيًّا في أوساط العائلات النبيلة، إلا أن عدة وقائع تعارض كون ويليام نبيلَ الأصل. أولى تلك الوقائع هي غياب أيِّ ذكرٍ لعائلته، مما يشير إلى أنها كانت أسرةً متواضعة. وثانيها هي عدم إدراج أيِّ نبلاء في إدخال أوكام المذكور في «كتاب وينتشستر» ولا في الروايات التي تلت ذلك. كما أن الأديرة كانت تقوم بدور الملاجئ غير الرسمية للأطفال غير المرغوب فيهم الذين يُترَكون على أعتابها؛ لذا فإن البداية المرجَّحة أكثر لحياة ويليام هي إما أنه كان طفلًا يتيمًا، أو غير شرعي أو مهجورًا.

وبالبلدات القريبة من أوكام كانت هناك عدة أديرة فرنسيسكانية صغيرة، كالتي في جيلفيد وتشيتسي على سبيل المثال. ومن المرجَّح أن ويليام أمضى سنواته الأولى في واحدٍ من تلك الأديرة. وبعد أن وصل إليها طفلًا صغيرًا، من المفترَض أنه قد حُلِق شعرُ رأسه وأُلبِس رداء رهبان الفرنسيسكان الرمادي المعتاد.[٢] وباعتباره منذورًا — وهو مساعد راهب من نوعٍ ما — من المفترض أنه خضع إلى نظام حياة رهبانية غاية في الصرامة. إذ يبدأ كلَّ يوم في نحو السادسة صباحًا بالتسبيح والتمجيد، ثم تكون هناك الطقوس الدينية وإنشاد المزامير، تتبعها الحصصُ الدراسية. وكان هدف تعليمه الأساسي هو ضمان أن يكبَر ليؤدِّي واجبه الأساسي كراهب، وهو تلاوة الصلوات وإنشاد المزامير. كانت طريقة

التدريس القياسية هي الحفظ عن ظهرِ قلب وترتيل الفقرات أو إنشادها. وفي تلك المرحلة من التعليم الذي يتلقونه، لم يكن من المتوقَّع من الأطفال بالضرورة أن يفهموا اللغةَ اللاتينية التي يرتِّلون بها صلواتهم وينشدون بها مزاميرهم. وكما يعترف الصبي في قصة «حكاية رئيسة الدير» التي كتبها تشوسر، «أتعلَّم الإنشاد؛ وأعرف من قواعد النحو القليلَ».

وأثناء سنواته الأولى في الدير، من المفترض أن يكون قد تعلَّم ويليام أساسياتِ علمِ الحساب، وقراءة الكتاب المقدَّس وعرف بعض المعلومات عن حياة القديسين. كانت الكتب حينها باهظةَ الثمن للغاية؛ لذا كان التدريس يشتمل في غالب الأمر على تلقين الفقرات التي يقرؤها المعلِّم ثم نسخها بقلمٍ مستدق الطرف على لوحٍ مطلي بالشمع. وكان الانضباط يُفرض بصرامةٍ في ظلِّ نظامٍ لم يختلف كثيرًا على الأرجح عن النظام الذي أيَّده القديس بنينوس من ديجون، والذي قضى بأنه «إذا ما ارتكب الأولاد أيَّ خطأ ... فلا تتوانَ، وجرِّدهم من عباءاتهم وقلنسواتهم واضربهم وهم لا يرتدون سوى القمصان».[4] ولم ينجُ ويليام من ذلك فحسب، بل أثار إعجابَ أولي أمرِه بما يكفي بحيث حين بلغ عامه العشرين، أي بحلول عام ١٣٠٥ تقريبًا، أرسلوه إلى أقربِ مدرسة فرنسيسكانية لهم، والتي كان اسمها جرايفريارز وتوجد بالقرب من نيوجيت في مدينة لندن، ليتلقى تعليمه الثانوي.

كانت نيوجيت منطقةً في الركن الجنوبي الشرقي لمدينة لندن القديمة والتي كانت متاخمةً لواحدة من سبع بوابات في جدار المدينة. تبعُد منطقة نيوجيت مسيرةَ ركوب يوم شَمالي أوكام أو جيلفيد؛ أو على الأرجح أكثر، على بُعد عدة أيام منهما بالسفر سيرًا. وكان ذلك الدير، وهو الأقدم والأكبر في إنجلترا، يأوي أكثرَ من مائة راهب، كما كان قريبًا من سوق لحوم نيوجيت المزدحم. يمكننا أن نتخيَّل الراهبَ المبتدئ وهو يشق طريقه خلال الأزقة والممرات الضيقة الزلقة النتنة والتي تعجُّ بالضجيج والهِياج وتحمل أسماءً مثل بلادر ستريت أو ذا شامبلز (الذي هو شكلٌ مختصر لـ «فليش آمبلز») متفاديًا الرجالَ والصبية الذين يحملون أجسادَ البقر والخنازير والخراف التي يقطر منها الدم، والذين يبخِّرون كذلك دِلاء الدَّم المتخثِّر ليصنعوا بودينج الدم الذي يُباع في زُقاق بودينج لين المجاور. على الأرجح أنه كان يشعر بارتياحٍ كبير وهو يمرُّ من خلال الأبواب الخشبية ليدلِف إلى العزلة والهدوء النسبيَّين داخل الدير.

كانت مدرسة جرايفريارز شيئًا يقع بين المدرسة والجامعة؛ حيث يدرُس الراهب ذو الميول الأكاديمية مدةَ ثلاث سنوات ليحصل على درجة البكالوريوس، أو مدةَ ست سنوات

ليحصل على درجة الماجستير قبل أن يكمِل دراسته للحصول على درجةِ الدكتوراه في علم اللاهوت؛ وذلك إن كان ماهرًا بما يكفي. هنا اتسعت آفاقُ ما تلقَّاه ويليام من تعليم لتشمل الفنون الثلاثة الأولية من الفنون الحرة السبعة لجامعات العصور الوسطى، وهي النحو والمنطق والبلاغة، وذلك قبل أن يتقدَّم إلى دراسة الفنون الأربعة الأخرى التي اشتملت على الموسيقى، إضافةً إلى موادَّ تشكِّل اليوم جزءًا من أي منهجٍ دراسي علمي؛ ألا وهي الحساب والهندسة والفلك.

لكن حين جلس ويليام في حجرةِ الدراسة ذات الجدران الحجرية إلى جوار زملائه من الطلاب الحليقِي الرأس الذين يرتدون الرداءَ الرمادي ليستمع إلى محاضراتِ أساتذته في المنطق أو الحساب أو الهندسة أو الفلك، لا شك أن التجربة كانت مختلفةً عليه تمامًا عن تجربةِ أي طالب آخر من طلاب العصر الحديث. فبشكل مبدئي، كانت معظم النصوص الرئيسية عمرها مئات، بل حتى آلاف، السنين.

الكون المكتظ أمام الشفرة

> بدا أن غيمةً غلَّفتنا؛ غيمةً مشرِقة كثيفة، سطحها صلب، كانت تتألَّق كتألق الماسة في ضوء الشمس المنعكس. غصنا بداخل اللؤلؤة السرمدية، كما يغوص شعاع الشمس في صفحة المياه، التي تبقى مع ذلك دون انحسار ... لم أكن أعلم إن كنتُ جسدًا أم روحًا مجرَّدة ... وكما لا تتبيَّن عيوننا بسهولةٍ الدُّرةَ التي يتزين بها الجبينُ الناصع البياض، هكذا رأيت الكثيرَ من الوجوه التي كانت تتوق الآن للحديث.
>
> دانتي، «الكوميديا الإلهية»، «دائرة القمر»

ينبغي لي أن أشير أولًا إلى أن «العلم» — كما نفهمه اليوم كمصطلح — لم يكن موجودًا في واقع الأمر في عالم العصور الوسطى. إذ اشتُق المقابل الإنجليزي للكلمة من الكلمة اللاتينية scientia التي تَعني المعرفة. لكن علماء تلك العصور ربطوا هذه الكلمةَ بالمعرفة التي يمكن أن نتحقَّق منها، مثل استدارة القمر أو أن مربَّع وتر المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع مربعَي ضلعَيه الآخرين. وقد تناقض هذا مع مسائل الرأي، مثل ما إن كان دانتي أم تشوسر هو أعظم الشعراء، أو ما إن كانت السرقة أم الزنا أكبر كخطيئة.

لكن وعلى عكس العلم في عصرنا هذا، اشتملت هذه المعرفةُ العلمية أيضًا على «الحقائق اللاهوتية» التي كان يُنظر إليها بعين اليقين، كوجود الجحيم والفردوس.

وبمراعاة هذا التوضيح، فإن المعرفةَ العلمية الأولى (بالمعنى الحديث للكلمة) التي درسها ويليام في جرايفريارز من المفترض أن تكون شروحاتٍ متعدِّدة لعلماء يونانيين أمثال إقليدس (في الرياضيات) أو أرسطو (في كل شيء آخر تقريبًا) من القرنين الثالث والرابع قبل الميلاد، وكذلك علماء الرومان مثل بويثيوس من القرنين الخامس والسادس الميلاديَّين. في تلك الآونة، كان أرسطو يمثِّل المرجعيةَ الرئيسية، وعلى الأرجح أن ويليام درس أعماله «الطبيعة»، و«تاريخ الحيوانات» و«السماء والعالم» و«عن الكون والفساد» و«الأرصاد الجوية، الكتابين الأول والرابع». ومن بين الشروحات الأخرى، كان هناك كتابُ «كرة العالم» الذي كُتب عام ١٢٣٠ تقريبًا على يدِ يوهان دي ساكروبوسكو، الذي قدَّم موجزًا سهلَ القراءة عما وُجد في أعمال أرسطو ولاحقًا في أعمال الفلاسفة اليونانيِّين مثل بطليموس عن علم الفلك. وقد أثَّر كتاب ساكروبوسكو بشكلٍ عميق في فنون وآداب العصور الوسطى، بما في ذلك ربما أعظم قصائد تلك الفترة وهي «الكوميديا الإلهية» لدانتي.

كتب دانتي «الكوميديا الإلهية» بين عامي ١٣٠٨ و١٣٢٠، فيما كان ويليام يدرُس في لندن. وهي تعجُّ بعناصرَ مستقاةٍ من كتاب «كرة العالم» جنبًا إلى جنب مع عناصرَ مستقاةٍ من أعمال علماء آخرين من العصور الوسطى أمثال روجر بيكون وروبرت جروستيست،[5] وهي أعمالٌ لا بد أن ويليام درسَها هي أيضًا؛ بالإضافة إلى قدرٍ لا بأس به من خِصْب خيال الشاعر. ورغم أن هذه القصيدة خياليةٌ إلى حد كبير، فإنها توضِّح كيف كان اللاهوت والمعرفة العلمية متداخلين في فلسفة العصور الوسطى،[6] ومِن ثَم فإنها تمثِّل نقطةَ انطلاق رائعة لبداية رحلتنا الاستكشافية عن الدور الذي لعبته شفرة أوكام فيما أحرزته العلوم من تقدُّم.

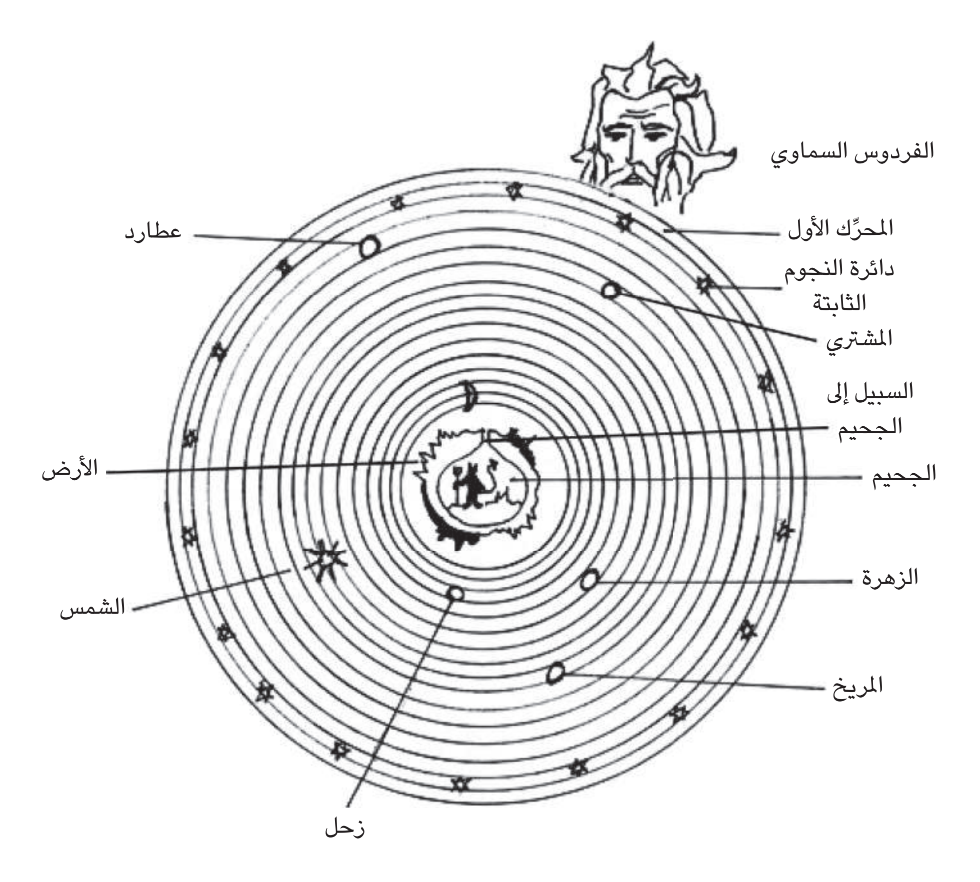
في قصيدته الملحمية، يأخذنا دانتي في جولةٍ داخل المناطق المختلفة في الكون في العصور الوسطى. يبدأ دانتي رحلتَه على الأرض حيث ينزل إلى الجحيم، ومن هناك يزور المَطْهَر.[٣] ثم يصعد في النهاية إلى السماء تصحبه روح بياتريتشي، وهي محبوبته في أيام الصبا. ثم تأخذ بياتريتشي دانتي بعد ذلك في جولةٍ في عشر سماوات حيث يزوران دائرتي الشمس والقمر (وقد اقتبسنا جزءًا عن الأخيرة في مقدمة هذا القسم) وكواكب عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل. والمادة المتألقة «كتألق الماسة» في المقتطف هي

كرة دوَّارة من بلور شفاف كان يُعتقد أن القمر (وهو «اللؤلؤة السرمدية») يرسو عليها. وتقوم الحركات الدائرية للكرة القمرية بتحريك القمر حول الأرض في دورته الشهرية. وكذلك الشمس وكل كوكب من تلك الكواكب كانت تدفعها كرات بلورية على نحوٍ مشابه خلال مداراتها التي تكون الأرض هي مركزها. وفي أدنى الكرات، الكرة القمرية، يلتقي دانتي لأول مرةٍ ببعض المخلوقات التي تقطن الفردوس، وهي «وجوه» أرواح الصالحين.

من الواضح أن الفردوس بالنسبة إلى دانتي مكانٌ مادي؛ لكن هل السبب في ذلك يعود إلى العلم أم إلى اللاهوت؟ الإجابة هي: كلاهما. إذ توجَد الأرواح والملائكة في الفردوس بكثرة، وتوجَد كذلك أسئلةٌ يمكن أن نصفها اليوم بأنها علمية. على سبيل المثال، يشرع كلٌّ من دانتي وبياتريتشي أثناء جولتهما في محادثةٍ طويلة عن الأسباب الممكنة للبقع المظلمة على القمر. كان هذا الموضوع محلَّ جدال شديد بين العلماء في العصور القديمة والوسطى؛ لأن القمر — كونه أحد قاطني السماء — كان يُتوقَّع ألا تشوبه شائبة. ادعى البعض أن تلك البقع هي وصمات الخطايا البشرية؛ في حين تُناقش بياتريتشي احتماليةً أخرى وترفضها، وهي أن القمر قد يحتوي على مناطقَ شفافة. إذن فالعلم واللاهوت كانا يشكِّلان المعرفة الخاصة بالكون في العصور الوسطى.

ويستكمل دانتي ارتقاءه، فينتقل عبر دوائر الكواكب الخمسة قبل زيارة الدائرة السماوية التي تحمل النجوم الثابتة في مدارها اليومي. وقد كان هناك الكثيرُ من المناقشات حول طبيعة النجوم؛ ما إن كانت على سبيل المثال أجسامًا كروية مرتبطة بدائرتها، أو ربما فجوات في الدائرة السماوية يسطع من خلالها النور الإلهي. وفيما بعد تلك الدائرة السماوية توجد السماء العليا أو «المحرِّك الأول»، وتشرح بياتريتشي أن الغرض منها هو فقط توفيرُ الدفع اللازم للدوائر الداخلية التي تحمل النجوم والأجرام. وفيما بعدها يوجد مستقر الرب والقديسين.

وينبغي لي أن أشير إلى أن كتاب ساكروبوسكو عن الفلك لا يشتمل على الملائكة ولا يذكر أيَّ شيء لاهوتي صريح آخر، حيث كان يستند في أساسه إلى علم الفلك الأرسطي الذي يكاد يكون علمانيًّا بكامله. إلا أن غالبية مَن درسوا أرسطو في عالم العصور الوسطى كانوا لاهوتيين يبحثون عن طرائقَ لدمج أفكاره في علم الفلك في رؤيتهم عن السماء في العقيدة المسيحية، وهذا بحسب ما يتجلَّى من أعمالهم. ومِن ثَمَّ فإن قصيدة دانتي تقدِّم لمحةً عن السماء التي درسها ويليام، وفي الوقت نفسه، ما ظن الرجال والنساء المتعلمون من ذلك العصر أنهم ينظرون إليه حين ينظرون إلى السماء أثناء الليل. إن الإنسان الذي



شكل ١-١: الكون في العصور الوسطى.

عاش في العصور الوسطى كان يرى جدران السماء تزيِّنها الشمس والقمر والنجوم، وهذا بعيدٌ كل البعد عن مفهومنا الحالي لسماء الليل التي تملؤها كرات الصخور والغازات المشتعلة وتفصل بينها فراغات شاسعة. وإن تمكَّن إنسان العصور الوسطى من الارتقاء في السماء كما فعل دانتي وأزال قبَّتها المرصَّعة بالنجوم، فإنه كان يتوقَّع أن يرى وجه الرب إلى جانب الملائكة والقديسين.

لذا كان الكون في العصور الوسطى مزيجًا غريبًا بين علم الفلك اليوناني واللاهوت المسيحي. وقد تجمَّعت مكوناته اللاهوتية معًا من الكتاب المقدس اليهودي وكتابات

اللاهوتيين المسيحيين. ولكي نكتشف أصولَ أجزائه العلمية، فإننا في حاجةٍ لأن نتَّجه شرقًا من نيوجيت ونعود بالزمن إلى بلاد الرافدين القديمة.

الأجرام السماوية

انظر إلى سماء الليل في ليلةٍ صافية وسترى حوالي ألفي نجم. وقد ترى القمر أيضًا وما يربو إلى خمسة كواكب ظاهرة. من السهل ملاحظة القمر. لكنْ أيٌّ من بين النجوم التي يبلغ عددها ألفين أو ما إلى ذلك، يُعدُّ كوكبًا؟

بإمكان أحد البابليين القدماء (١٨٠٠–٦٠٠ قبل الميلاد) أن يقدِّم لك الإجابة. إذ كان مبيتُهم على أسطح المباني الباردة في ليالي الصيف الحارة سببًا في تعرُّفهم على الحركات الواضحة في سماء الليل. فقد نشأ هؤلاء وبإمكانهم التعرُّف على الكوكبات التي تشمل ما قد يصل إلى ألفي «نجم ثابت»، والتي تتلألأ وتدور في دوائرَ كاملة حول نقطةٍ بعينها في سماء الليل يسِمُها النجم القطبي. لكنهم لاحظوا أيضًا خمسة نجوم لم تكن تتلألأ، ولا تتبع مساراتٍ دائرية، بل كانت بدلًا من ذلك تسبَح في مساحات واسعة من الكوكبات تُعرف باسم البروج. وقد أكسبتها عادةُ التجوال هذه اسم النجوم السيَّارة، أو planetes باللغة اليونانية وتعني «الكواكب».

وأكثر سِمة فتنت الفلكيِّين القدماء كانت هي حركة الكواكب. فمثل معظم القدماء ميَّز هؤلاء بين الأشياء الثابتة والأشياء المتحرِّكة. واعتقدوا أن الأشياءَ الثابتة تميل لأنْ تظلَّ ثابتة إلا إذا دُفِعت؛ بينما امتلكت الأشياء المتحرِّكة القدرةَ على الحركة من تلقاء نفسها، وهي قدرةٌ منحتها إياها روحٌ خارقة للطبيعة كالتي تحرِّك الجسد البشري. وبما أن الأجسام السماوية كانت تتحرَّك على نحوٍ غيرِ منتظِم في السماء من دون أي شيء معروف يحرِّكها، فقد اعتقد البابليون، إلى جانب كل القدماء تقريبًا، أن تلك الأجسام تتحرَّك مثلنا بفعل عواملَ أو أرواحٍ خارقة للطبيعة. فالكوكب الذي نطلق عليه اسم عطارد كان يتحرَّك في السماء بواسطة عربة الإله نابو. وبالمِثل، كانت الآلهةُ عشتار ونيرجال ومردوخ ونينورتا يحرِّكون الكواكبَ التي نعرفها اليوم باسم الزهرة والمريخ والمشتري وزحل. ولكي يزوِّدوا القمر والشمس بقوة التحريك المستقلَّة الخاصة بكلٍّ منهما، فقد سرَّجهما البابليون إلى عربات إله الشمس سين وإله القمر شماش.[٤] وقد أمدَّتهم الكواكب الخمسة المتحركة إضافةً إلى الشمس والقمر — كما أمدَّتنا نحن — بأيام الأسبوع السبعة. وتخصيص معبودٍ لكل نجم ثابت كان صعبًا على البابليِّين؛ لذا استقروا على حلٍّ أبسطَ

من خلال ربطهم بالسطح الداخلي لقشرة محار كونية نصف كروية تدور كلَّ يوم من الشرق إلى الغرب حول النجم القطبي.

يبدو هذا الكون الذي تحرِّك نجومَه الآلهةُ غريبًا علينا اليوم، لكن في غياب أيِّ شكل من أشكال الفهم للجاذبية، كانت الآلهةُ تقوم بهذه المهمة في السماء. وكما سنكتشف، فإن العلم لا يتعلَّق بإيجاد أيِّ نوع من أنواع الحقائق المطلَقة، بل بوضع فرضيات أو نماذج نستخدمها في عمل تنبؤات مفيدة. كان نموذجُ السماء الذي تحرِّك نجومَه الآلهةُ لدى البابليين يعمل بكفاءة بالقدرِ الكافي بالنسبة إلى هدفه الأساسي، وهو تزويدهم بتقويم يستخدمه علماء الفلك والمنجِّمون لديهم للتنبؤ بأفضلِ الأوقات للزراعة أو الحصاد أو الزواج أو قيام الحروب.

الدوائر السماوية

سقطت بابل في قبضة الإمبراطورية الفارسية الأخمينية في عام ٥٣٩ قبل الميلاد، إلا أن علم الفلك فيها نجا وعبَر بحر إيجة وانتقل إلى يدِ علماء الفلك اليونانيِّين القدماء. وهناك، حلَّت المعبودات اليونانية مثل أفروديت أو آريز محلَّ مجموعةِ المعبودات البابلية. لكن اليونانيِّين الذين كانوا يتحلون بعقلياتٍ فلسفيةٍ أكثرَ مثل أنكسيمانس (٥٨٥–٥٢٨ قبل الميلاد) من مايليتس (وهي مدينة يونانية على شاطئ الأناضول) جعلوا الآلهة غير ضرورية — على الأقل في السماء — إذ استبدلوا بقوةِ دفعِها الخارقةِ سلسلةً متحدة المركز من الدوائر أو المجالات الميكانيكية التي تدفع بدورانها القمر والشمس والكواكب والنجوم حول الأرض وعبْر السماء. ولحل المشكلة الجلية التي تتمثَّل في أن أحدًا لا يستطيع رؤيةَ تلك الدوائر، تبنَّى أنكسيمانس المنهجَ الذي أربك العلمَ ما قبل الحديث: فابتكر كِيانًا ليسدَّ بها الفجوة التفسيرية. فاقترح أن الدوائر السماوية مصنوعةٌ من عنصرٍ سماوي شفاف تمامًا كالبلور يُعرف باسم الأثير، أو العنصر الخامس، أو الجوهر.

بالطبع لم يكن هناك أيُّ دليل لا على الدوائر السماوية ولا على الأثير؛ لكن في العالم القديم، كانا يُعَدان وسيلةً اقتصادية لتفسير الحركات السماوية حيث استُبدلتا بمجموعةٍ من الآلهة كِيانين اثنين فقط. لكنَّ هذا الوجودَ المفترَض ألهم المتصوفةَ والفلاسفة والمنجِّمين وعلماء الفلك لابتكار كياناتٍ إضافية عبْر القرون. زعم فيثاغورس (٥٧٠–٤٩٥ قبل الميلاد تقريبًا) — الذي وُلِد على جزيرة ساموس — أن دوران الدوائر أنتج موسيقى سماوية لا تسمعها سوى أذن فائقة الحساسية. وبعد ألف عام من أنكسيمانس، كان الخيميائيون

يزعمون أنهم يستخرجون خلاصةً نقية من مركَّباتهم، في حين أن بعد ألفي عام من فيثاغورس، كان الملحِّنون لا يزالون يؤلِّفون «موسيقى الدوائر السماوية». قد تصبح الكيانات غيرَ ضرورية ولا حاجة لها، إلا أنها كثيرًا ما تكون باقيةَ الأثر بصورة بارزة.



شكل ١-٢: موضع كوكب المريخ أمام خلفيةٍ من النجوم في عدة ليالٍ متتالية.

لكن وعلى الرغم من أن الدوائر الشفافة كانت تعمل بصورةٍ جيدة مع الشمس أو القمر أو النجوم الثابتة التي تتحرَّك في مساراتٍ دائرية كاملة عبْر السماء كلَّ يوم، فإن استخدامها لتفسير حركة الكواكب السيَّارة كان مستحيلًا. فمساراتها لم تكن غيرَ دائرية فحسب، بل كانت، إضافةً إلى التحرُّك من الشرق إلى الغرب مع النجوم الثابتة، تغيِّر مسارها باستمرار فيما نطلق عليه اليوم الحركةَ الرجعية، كي تتحرَّك من جهة الغرب إلى جهة الشرق. ولم يكن هذا يمثِّل مشكلةً للكواكب البابلية القديمة التي تحرِّكها الآلهةُ المتقلِّبة الهوى، لكن كيف يمكن أن تجعل من شيء يقبَع على سطح كرة دوَّارة أن يتحرَّك؟

ظنَّ أعظم فلاسفة العالم القديم أنه يعرف الإجابة. وُلِد أفلاطون حوالي عام ٤٢٨ قبل الميلاد لأسرة أثينية ثرية. وأصبح تلميذَ سقراط وأسَّس أولَ مدرسة للفلسفة في العالم وهي الأكاديمية الشهيرة في أثينا، وذلك بعد إعدام الفيلسوف الكبير. وفي تلك المدرسةِ ألقى محاضراتٍ عن الفلسفة وكتبَ عنها مطوَّلًا وعن الفنون والسياسة والأخلاق والعلوم، وخاصة الرياضياتِ والفلكَ عند فيثاغورس. وكانت أكثرُ أفكاره تأثيرًا — وهي التي أثَّرت فيما بعدُ بشكلٍ عميق في مسار الثقافة الغربية — هي مفهومه عن المُثل والتقليد الفلسفي المرافق لها والمعروف بالواقعية الفلسفية.

تشمل واقعيةُ أفلاطون جميعَ جوانب الخبرة، لكن يمكن فهمُها بسهولةٍ أكبر عن طريق النظر إلى طبيعة الأشياء الرياضية والهندسية مثل الدوائر. طرح أفلاطون السؤالَ التالي: ما هي الدائرة؟ قد تشير إلى نموذجٍ بعينه محفورٍ على الحجر أو مرسومٍ على الرمل، لكن أفلاطون أشار إلى أنك إذا ما أمعنت النظر بما يكفي، فسترى أنه ليس بشيء مثالي، لا هو ولا أي دائرة مادية أخرى. إذ تشتمل جميعُها على التِواءاتٍ أو مكامنِ خلل، وجميعها خاضعة للتغيير والاضمحلال بمرور الوقت. إذن كيف لنا أن نتحدَّث عن الدوائر وهي غير موجودة في الواقع؟

ولا تنحصر المشكلة في الأشياء الهندسية، لكنها موجودةٌ في كل كلمةٍ نعيِّنها لفئةٍ من الأشياء أو المفاهيم، كالصخور والرمل والقطط والسَّمك والحُب والعدالة والقانون والنُّبلاء وما إلى ذلك. وتختلف النماذج أو الصور بعضها عن بعض، ولا يتوافق أيٌّ منها مع القطة أو الصخرة أو السمكة المثالية؛ إلا أننا لا نجد صعوبةً في التعرُّف عليها والتحدُّث عنها. إذن إلى ماذا نقارنها من أجل أن نقرَّ بأنها دوائرُ أو صخورٌ أو سمك أو قطط؟

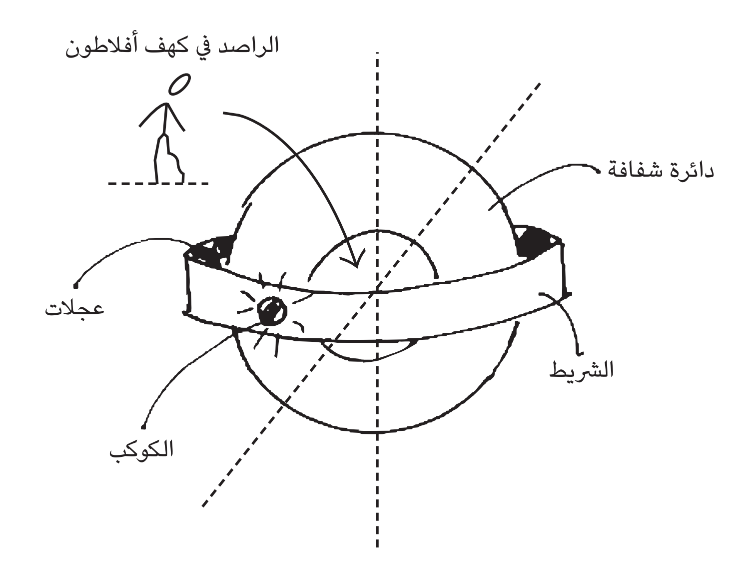
كانت إجابة أفلاطون الاستثنائية تتمثَّل في أن العالَم الذي نراه هو انعكاس شاحب لحقيقةٍ أعمقَ للمُثل، أو «الكليَّات»؛ حيث تطارد القطط المثالية الفئرانَ المثالية في دوائرَ مثاليةٍ حول صخور مثالية، ويشاهدهم نبلاءُ مِثاليون. واعتقد أفلاطون أن المُثل أو الكليَّات هي الحقيقة الصادقة التي توجد في عالمٍ خفي لكنه مثالي يتخطَّى حدودَ حواسِّنا. ويُعرف نظامُه في الغالب باسم «الواقعية الفلسفية» ليشير إلى أن أفلاطون وأتباعَه كانوا يؤمنون بأن المُثل أو الكليَّات ليست حقيقيةً فحسب، وإنما هي الحقيقة المطْلقة التي تنشأ عنها تصوُّراتنا الحسيَّة.٥

صوَّر أفلاطون نموذجَه هذا على نحوٍ نابض بالحياة في استعارته الشهيرة عن الكهف والتي شبَّه فيها الخبرةَ الإنسانية بتجربةِ أناس مقيَّدين بسلاسلَ يواجهون جدار كهف تضيئه نار. تمرُّ الأشياء الحقيقية (والتي تناظر عنده المُثل) بين الناس والنار، لكن سكَّان الكهف لا يمكنهم أن يدركوا إلا ظلالها المنعكسة على جدار الكهف. وهم مقتنعون بأن تلك الظلال هي العالَم الحقيقي، وغير مدركين تمامًا أن هناك واقعًا آخرَ أكثرَ حيوية، لو أن بإمكانهم فقط أن يلتفتوا ويواجهوه. وأصرَّ أفلاطون بالمِثل على أن العالَم الحقيقي للمُثل لا يُمكن أن يُدرَك بحواسِّنا وإنما بعقولنا فقط. وأفاد أن عقل الفيلسوف «إضافةً إلى روحه بكاملها، ينبغي أن يتحوَّلا عمَّا هو معرَّض لأن يصبح [العالم المرئي لخبرتنا] حتى يصبحا قادرَين على تأمُّل ما هو كائن بالفعل، وأكثر الأجزاء وضوحًا منه: وهذا هو ما نطلِق عليه الخير».[7]

ولا يعلم أحدٌ يقينًا أين الموضعُ الذي عيَّنه أفلاطون لعالَمه من المُثل الكاملة، لكن في عمله «محاورة فيدروس»، يقول إنها «في مكانٍ ما بعد السماء». وباعتبار الكواكبِ رفيقةً لها في العالَم السماوي، فإنها لا بد مثالية تمامًا، بما في ذلك التحرُّك في مسارات دائرية مثالية هندسيًّا وبسرعةٍ موحَّدة. وقد أكَّد أفلاطون أن كون هذا الزعم ترفضه بوضوح حواسُّه لا بد أنه نتيجة لدونيةِ وجهةِ النظر المتاحة للإنسانية من داخل الكهف الدنيوي لحواسنا. وقد حثَّ أتباعَه على تجاهل عدسة حواسِّهم المشوَّهة واستخدام عقولهم بدلًا منها لاستكشاف «الحركات الدائرية، والسرعة [الموحَّدة عبْر السماء] والمنتظمة تمامًا، [والتي] ستُقبَل باعتبارها افتراضاتٍ حتى يكون من الممكن تقديمُ تعليل لمظهر الكواكب».[8] ومِن ثَم فقد أصبح «تقديمُ تعليل لمظهر الكواكب» — كما أصبح يُطلق على هذا المسعى — هو المهمةَ الأساسية لعلماء الفلك لأكثرَ من ألفي عام.

وكان أول مَن اضطلع بهذا التحدي هو تلميذ أفلاطون إيودوكسوس من كنيدوس (٤١٠–٣٤٧ قبل الميلاد)، الذي أضاف المزيدَ من الدوائر السماوية — في نمطٍ سيصبح فيما بعدُ مألوفًا. تخيَّل أنك تقف في كهف أفلاطون — الذي يقع في مركزِ نسخةٍ مبسَّطة من نموذج إيودوكسوس التي تتكوَّن من دائرة واحدة فحسب — الذي سنوضِّحه في الشكل ١-٣ كقسمٍ يشبه الشريط من الدائرة الشفافة (رغم أن إيودوكسوس تخيَّله دائرةً بكاملها). وفي مكان ما في محيط الشريط ثمَّة ضوء ساطع ملتصق به، وهو ما سنطلق عليه «الكوكب». والآن تخيَّل أنك ترى الضوء فقط فيما يدور الشريط، وما ستراه هو أن الكوكب يتبع مسارًا دائريًّا مثاليًّا. وتخيَّل بعد ذلك أنك أضفت دائرةً شفافة كاملة إلى الجزء الداخلي من الشريط بحيث يكون الشريط والمدار متحدَي المركز. يدور الشريط الآن على عجلاتٍ بحيث يدور بسلاسة على طول مسار ثابت فوق سطح الدائرة الشفافة. ومن مكان نظرك من مركز كلٍّ من الشريط والدائرة، يتبع الكوكب مرة أخرى مسارًا دائريًّا. لكن الآن، وحيث يدور الشريط، فإننا نسمح للمدار الداخلي بأن يدور هو أيضًا على محورٍ آخر. تظل حركةُ الكوكب دائرية بصورة مثالية — حين نراها من منظورها الخاص — إلا أنها من منظورك أنت في الكهف، تبدو الآن أنها تتبع مسارًا أكثرَ تعقيدًا، وهو اجتماع حركتين دائريتين. إنه يتحرَّك كالكواكب في السماء.

عمل نموذج إيودوكسوس جيدًا بما يكفي، لكنه كان بحاجةٍ لسبع وعشرين دائرة. وأضاف تلميذُ أفلاطون ذو العقل الميكانيكي، أرسطو، المزيدَ من الدوائر لتقوم بعمل محمل كريات حديث لتمنع نقْل الحركة من إحدى الدوائر إلى الدوائر المجاورة. فقفز عدد



شكل ١-٣: تمثيلٌ لحركات الكواكب في نموذج إيودوكسوس.

الدوائر السماوية إلى ستٍّ وخمسين. لكن ظلت هناك مشكلة. لم يستوعب أيُّ عدد من الدوائر الدوَّارة الجامدة سِمةً أخرى من حركة الكواكب — وهي أن الكواكب تلمع وتخبو بانتظام. ولكي تحافظ الكواكب على هذا الانتظام، فإن عليها أن تتحرَّك قريبًا من الأرض (حتى تلمع) ثم بعيدًا عنها (حتى تخبو). فكيف يمكن للكواكب أن تنفِّذ هذه المناورةَ على سطح دائرة جامدة؟

ابتكر آخِرُ أعظمِ علماءِ الفلك القدماء الحلَّ، وهو كلوديوس بطليموس (حوالي٩٠–١٦٨ ميلاديًّا) الذي عاش في مدينة الإسكندرية الرومانية الإغريقية الشهيرة بمكتبتها الكبرى. كانت أولى خطواته أن يدرج فكرةً من أفكار الفلكي اليوناني أبولونيوس[٦] الذي كان يعيش في القرن الثالث قبل الميلاد. فبدلًا من تثبيت الكوكب الخيالي في الشكل ١-٣ إلى الشريط الخارجي، تخيَّل أننا علَّقناه من عجلةٍ دوَّارة صغيرة، وكأنه كرسيٌّ معلَّق في عجلة دوارة خاصة بالملاهي، والذي محوره مربوط إلى الشريط. تقوم الدائرة والحلقة بتدوير الكوكب تمامًا كما في السابق، لكن دوران العجلة الدوارة الآن يقدِّم فلكَ تدويرٍ إضافي يحرِّك الكوكبَ بالقرب من نقطة نظرك وبعيدًا عنها، وذلك بالتناوب. أصبحت إضافة العجلة الآن مسئولةً عن لمعان الكواكب وخبوها، لكن كيف يمكن لعجلةٍ من أي نوع أن

تؤرجح كوكبًا عبْر دائرة شفافة يُعتقد أنها جامدة كالصخر؟ لم يحاول بطليموس أن يفسِّر ذلك.

وحتى مع كل هذا التعقيد، لم يسَعْ نموذجُ بطليموس تفسير حركة الكواكب بالكامل. ولكي يحلَّ هذه المشكلة، قدَّم اثنين من التعقيدات الإضافية. أولًا، حرَّك الأرض (وهي كهف أفلاطون في الشكل) من مركز دوران الدائرة الدقيق إلى نقطةٍ تقع خارج المركز مباشرة، وسُمِّيت «النقطة اللامركزية». كما أسقط بهدوءٍ مبدأ الحركة الموحَّدة الأفلاطوني عن طريق السماح لكل كوكب بأن يبدو أنه يدور بسرعةٍ موحَّدة من نقطة خيالية في الفضاء تسمَّى «نقطة معدَّل المسار».

وصف بطليموس نموذجَه النهائي للكون في عمله «المِجَسْطي» الذي كتبه حوالي عام ١٥٠ ميلاديًّا. كان النموذج في غاية التعقيد، ويشتمل على ما يقارب ثمانين دائرةً وفَلك تدويرٍ ونقاطًا لا مركزيةً ونقاطَ معدَّلِ مسار. كما كان النموذج غيرَ مادي بصورة عميقة؛ حيث كان يشتمل على الكواكب وهي تدور — على عجلاتها الدوَّارة السماوية — عبْر الدوائر التي من المفترض أنها شفافةٌ جامدة. كما كان النموذج أيضًا مركزيَّ الأرض، حيث الأرض — وليست الشمس — هي مرْكزه. إلا أن التنبؤات الفلكية التي تُنبِّئ بها باستخدام نموذج الكون المذكور في «المِجَسْطي» كانت دقيقة إلى حدٍّ بعيد، حيث فسَّرت الكثيرَ من الحركات المرصودة في السماء وكذلك تواريخ الأحداث مثل حالات الخسوف، إلى الدرجة التي أصبحت فيها كلمةُ هذا النموذج هي العليا في الفلك لما يربو على ألف عام. وقد دُرس النموذج على نطاقٍ واسع في العالم العربي وأتت معظمُ أفكار يوهان دي ساكروبوسكو الفلكية — في كتاب «كرة العالم» — الذي درسه ويليام الأوكامي على الأرجح في أكسفورد من الترجمات العربية لعمل «المِجَسْطي».

فكيف يمكن لنموذجٍ خاطئ بهذا الشكل أن يتنبأ بكل هذه الأشياء الصحيحة؟ هذا في واقع الأمر سؤالٌ في غاية العمق يمثِّل تحديًا للمفهوم الشائع عن أن مهمة العلم هي النظر لما هو أبعد من محدودية حواسنا وعقولنا غير الموجَّهة لاكتشاف ما يبدو عليه العالَم حقًّا. فإن كانت النماذج العلمية — مثل نموذج بطليموس — المبنيةُ على الكثير من الافتراضات الخاطئة لا تزال تأتي بتنبؤات دقيقة، إذن كيف يمكن لنا أن نحكُم بصواب أو خطأ نظرية أو فرضية بعينها؟ فربما تكون النماذج العلمية لهذا العصر والتي تقدِّم بالمِثل تفسيراتٍ لمعظم البيانات التي نحصل عليها اليوم خاطئة كما هو حال نموذج بطليموس؟ كيف لنا إذن أن نكتشف الحقيقة؟

كما قد تخمِّن، تشتمل الإجابة على هذه المعضلة على شفرة أوكام، لكن تبنِّيه سيستلزم التخلي عمَّا قد يُطلق عليه النظرة الساذجة للعلم كسعي نحو الحقيقة لصالحِ قبولٍ دقيقٍ أكثرَ وربما كان مزعجًا بأن «الحقيقة» ستظل دائمًا بعيدة عن متناولنا. لكن، وعلى الرغم من هذا الأمر، وباستخدام شفرة أوكام، يمكن للعلم مساعدتنا — وهو ما يحدث بالفعل — في فهْم عالمنا بحيث يتسنَّى لنا إرسال صواريخ إلى كواكبَ نائية أو تحرير مليارات الأشخاص من نير الأوبئة أو المجاعات. قد لا يعرف العلم إلى أين هو متَّجه، لكن الرحلة مذهلة.

سقوط السماء

كان نموذج بطليموس هو آخر الإنجازات العظيمة للعلوم الكلاسيكية. واستمرت مدينته الإسكندرية في كونها مركزًا للتعلُّم لفترةٍ طويلة من الحِقبة المسيحية. وكانت مكتبتها الكبرى شهيرةً للغاية حتى إن الإسكندرية في القرنين الأول والثاني الميلاديَّين كانت تُعَد عاصمة العلم عبْر أرجاء العالم القديم. ويمكن القول إن متحف الإسكندرية الذي تأسَّس حوالي عام ٣٠٠ قبل الميلاد هو أحدُ أول الجامعات في العالم التي ضمَّت ضمن طاقم التدريس بها باحثين بارزين مثل إقليدس. وكان آخرُ مديريها عالِمًا رياضيًّا يُدعى ثيون من الإسكندرية. وقد حازت ابنته المثقَّفة والجميلة هيباتيا شهرةً واسعة كرياضية وفيلسوفة ومدرِّسة، ومِن ثَم جسَّدت مُثُل الثقافة الهلنستية. وهي الرياضية الأولى التي نعرف بوجودها على نحوٍ أكيد.[9] كما استمرَّت في تدريس الآلهة الوثنية وعبادتها حتى بعد صدور فرمان الإمبراطور ثيودوسيوس ضد الديانة اليونانية القديمة. ويذكر يوحنا أسقف نيقوس قصَّة مصرعها في عام ٤١٥ ميلاديًّا والتي ورد فيها أن «جمعًا من المؤمنين بالرب ... جرجروها حتى وصلوا بها إلى الكنيسة الكبيرة ... ومزَّقوا ملابسها وجرجروها عبْر شوارع المدينة حتى ماتت ... وأحرقوا جثَّتها بالنار.»[10] وكتب القديس جيروم مترجِمُ نسخةِ الفولجاتا من الكتاب المقدَّس أن «حكمة الفلاسفة الغبية» قد هُزِمت. والدوائر البلورية التي مثَّلت «مسار النجوم» لليونانيِّين والرومان تهشَّمت، وعاد نموذج الكون إلى نموذج الأرض المسطَّحة التي تحيط بها خيمةٌ عبرية تحمل النجوم. وكتب سفريان، أسقفُ جبلة، حوالي عام ٤٠٠ ميلاديًّا في عمله «الخُطَب الست عن خلق العالم» أن «العالَم ليس بكُرة وإنما هو خيمة أو خِباء».[11]

هوامش

(١) اكتُشفت هذه القصةُ قبل بضعة قرون في أرشيف الفاتيكان على يدِ جورج كنيش، الذي تكرَّم بتقديم «ترجمة أولية» للنص اللاتيني. ومُيِّزت الاقتباساتُ التي أُخِذت مباشرةً من ترجمته بوضعها بين علامات تنصيص.

(٢) الراهب هو عضو في إحدى الرهبنات التي تعيش على الصدقات التي تأسَّست في معظمها في القرن الثاني عشر أو الثالث عشر، والتي تتضمَّن الكرمليين والفرنسيسكان والدومينيكان والأوغسطينوسيين. يرتدي الفرنسيسكان المحدثون ملابسَ باللون البني، لكن يُعتقد أن مصطلح الرهبان ذوي الرداء الرمادي مشتقٌّ من عادتهم القديمة (التي اتبعها ويليام وزملاؤه على الأرجح)، والخاصة بارتداء رداءٍ منسوج من صوفٍ غير مصبوغ استحال رماديًّا من كثرة ارتدائه. وكان الرهبان يتميزون عن النُّساك، في بداية الأمر على الأقل، وذلك من خلال تبنيهم أسلوبَ حياةِ ناسكٍ متجوِّل، لكن بحلول القرن الرابع عشر الميلادي كانوا يعيشون في غالب الأحيان في الأديرة.

(٣) في العقيدة الكاثوليكية، المَطْهَر هو المكان الذي ينبغي أن يُكفِّر فيه المذنبون الذين تمكنوا من تفادي دخول الجحيم عن خطاياهم، وذلك بالمرور بفترة من العذاب قبل أن يتسنَّى لهم الصعود إلى الفردوس.

(٤) لم تفرِّق الغالبية العُظمى من القدماء بين الكواكب الخمسة المرئية التي نعرفها اليوم والشمس والقمر؛ إذ كانت جميعها بالنسبة إليهم «كواكب».

(٥) يجب عدم الخلط بين هذا وبين الواقعية بمعنى المعقول والعملي.

(٦) وُلِد أبولونيوس في واقع الأمر في الأناضول.

الفصل الثاني

فيزياء الرب

شهدت فترةُ التاريخ الأوروبي الغربي التي كانت تُعرف باسم «العصور المظلمة»[١] انخفاضَ عدد سكان المنطقة من نحو تسعة ملايين نسمة عام ٥٠٠ ميلاديًّا إلى نحو خمسة ملايين نسمة، بعد حوالي أربعمائة سنة لاحقًا. وهبطت مستويات التعلُّم بصورةٍ كبيرة وتوقَّفت تقريبًا أعمال التشييد المعماري الضخمة. وشهدت تلك الفترة أيضًا هجراتٍ هائلة حيث تلاطمت أمواجُ الغزاة المتلاحقة لتملأ الفراغَ الذي خلَّفه انهيارُ الإمبراطورية الرومانية، وسعى اللاجئون إلى الهروب من الفوضى الناتجة عن ذلك.

إلا أن شيئًا من العلم استمر في أوروبا، غالبًا على حدود الإمبراطورية السابقة، على سبيل المثال، نورثمبريا وأيرلندا في الجزر البريطانية. ولاحقًا، سافر العلماءُ من هذه المناطق — مثل ألكوين من يورك (٧٣٥–٨٠٤ ميلاديًّا) وجون سكوتوس (٨١٥–٨٧٧ ميلاديًّا) — عبْر أوروبا ليسهموا في النهضة الكارلينجية في القرنين الثامن والتاسع والتي أدَّت في نهاية المَطاف إلى ما يُعرف اليوم باسم العصور الوسطى المبكِّرة أو العصور الوسطى الأولى.[1]

قدَّمت النهضة الكارلينجية ابتكاراتٍ تقنيةً مثل المحراث الثقيل، والرِّكاب وطاحونة الهواء. لكن، وبالرغم من أن هذه الابتكارات أدَّت إلى شيء من التقدُّم، فإنها كانت في ظل خلفيةٍ من الركود أو التغيير التدريجي فحسب. هذا، وليس لدينا بياناتٌ إنتاجية موثوق فيها لفترة العصور الوسطى المبكرة بكاملها، لكنَّ هناك نمطًا يمكن ملاحظته، على سبيل المثال، في الإنتاجيةِ الزراعية لإنجلترا من عام ١٢٠٠ إلى عام ١٥٠٠[2] والذي يُظهِر نموًّا غايةً في الضحالة على مدى ثلاثمائة عام. وكان هذا النوع من الركود الافتراضي — ما قد نطلق عليه اليوم النمو الخطي — معتادًا في الحضارات السابقة، مثل الحضارات القديمة لبابل أو اليونان أو روما، والهند وأمريكا الوسطى والصين ما قبل الحِقبة الصناعية. وفي

واقع الأمر، يبدو أن نمط النمو الخطي هذا والذي تتخلَّله طفراتُ تقدُّم عرضية كان سِمةً مميَّزة لكل التاريخ البشري تقريبًا، باستثناء مئات السنين الماضية، والتي أظهرت نمطًا من النمو الأسِّي أو المتسارع حتى وقتٍ قريب جدًّا. هذا وسنعود إلى مسألةِ كيف ولماذا تحوَّل التقدُّم البشري من النمو الخطي إلى النمو الأسي في فصولٍ لاحقة؛ لكن وكما قد تتوقَّع، أعتقد أن شفرة أوكام لعبت دورًا محوريًّا في ذلك.

بعد سقوط روما وتأسيس الإمبراطورية البيزنطية الشرقية التي تركَّزت في القسطنطينية، احتفظ غربُ أوروبا مع ذلك باللغة اللاتينية الرومانية كلغة مشتركة. وقد سمح هذا على سبيل المثال بأن يُتَبنَّى القانون الروماني عبْر معظم أجزاء الغرب. لكن العلوم والفلسفة كانت دائمًا تقريبًا ما تُكتب باللغة اليونانية، فنتج عن ذلك أن الغرب فقد معظمَ تلك العلوم. وفي حين نعِمت الإمبراطورية البيزنطية التي تتحدَّث اليونانية بالوصول المستمر للكتب اليونانية القديمة، وذلك لأسبابٍ تظلُّ مبهمة، بدا أن البيزنطيِّين لم يهتموا كثيرًا بالعلوم اليونانية.

لكن تُرجِمت حَفنة من الكتب اليونانية إلى اللغة اللاتينية قبل سقوط روما. وقد ظهر أحدُ أشهر الكتب على يد الأرستقراطي الروماني المسيحي بوئثيوس (حوالي ٤٧٥–٥٢٥ ميلاديًّا). كان الكتاب بعنوان «عزاء الفلسفة»، وقد كتبه بوئثيوس وهو في زنزانةِ سِجنه أثناء انتظاره إعدامًا مريعًا جزاء اتهامه بالخيانة. ويقدِّم الكتاب حوارَ مؤلفه الخيالي مع الفلسفة حول أهمية الفلسفة، خاصة فلسفة أفلاطون. وأصبح الكتاب ذا شعبية كبيرة في العصور الوسطى وقرأتْه تقريبًا كلُّ الأقلية المتعلِّمة. ولا يزال تحت الطبع إلى يومنا هذا.

انتقلت أيضًا إلى الغربِ الترجمات اللاتينية لأجزاءٍ من حوارات أفلاطون، بما في ذلك جزءٌ كبيرٌ من عمله «محاورة طيماوس» والذي أثَّر تأثيرًا عميقًا على التطوُّر الفكري لأوغسطينوس من هيبون (الذي أصبح قديسًا فيما بعدُ وعُرِف باسم القديس أوغسطينوس). في كتابه «مدينة الله» الذي أصبح مؤثِّرًا بصورة استثنائية في العصور الوسطى، يصف أوغسطينوس كيف أن الله «وضع في طريقي … بعضَ كتب الأفلاطونيِّين التي تُرجمت من اليونانية إلى اللاتينية». وكان تأثير ذلك غامرًا حتى إنه يقول لنا: «دخلتُ في أعماقي ومِن ثَم انطلقتُ على طريق الاهتداء».

وعلى الرغم من شعبيته، قدَّم كتاب «مدينة الله» نظرةً قاتمة للإنسانية. لقد كتبه أوغسطينوس بعد نهبِ روما على يد القوط الغربيِّين في عام ٤١٠ ميلاديًّا؛ لذا على الأرجح صبغت قائمةُ الأعمال الوحشية الطويلة التي ارتُكبت من القتل والاغتصاب والنهب طوال

ثلاثة أيام نظرتَه عن الإنسانية باعتبارها «كومة فساد». من المحتمل أن الفوضى أيضًا ألهمت أوغسطينوس لتبني الواقعية الفلسفية كوسيلةٍ للتوفيق بين الوحشية ونظرته للإله المسيحي المُحسِن. وقد اختار عالَم المُثل الخاص بأفلاطون ليقول إن أوجهَ النقائص الدنيوية هي انعكاسٌ شاحبٌ ومشوَّه لعالَم السماء الخفي المثالي.

وفي كتابه «اعترافات»، طرح أوغسطينوس تساؤلاتٍ سنصنِّفها اليوم على أنها علمية، مثل طبيعة الزمن؛ إلا أن هذه التساؤلات دائمًا ما كانت تتأطَّر بسياق لاهوتي، مثل كيف لإلهٍ ثابت لا يتغيَّر أن يفعل أيَّ شيء داخل الزمن.[3] كما كان أوغسطينوس يرى أن النزعة الإنسانية تميل للشرود فيما يتجاوز اللاهوت، محذِّرًا بالآتي:

> هناك شكلٌ آخرُ من النزعات ... رغبة وفضول تافهين معينين، ليس مقصدهما استمتاع الجسد، بل مقصدهما إجراء تجارب بمساعدة الجسد تحت ستار التعلُّم والمعرفة ... من المؤكَّد أن المسارح لم تَعُد تجذبني، ولا أهتم بمعرفة مسارات النجوم ... ماذا يعنيني إن كانت السماء على شكل دائرة والأرض تغلِّفها وتكون معلَّقة في منتصف الكون، أو ما إن كانت السماء فوق الأرض كالقرص تغطِّيها من أحد جوانبها؟[4]

كانت نتيجة ازدراء أوغسطينوس لهذا الشكل من النزعات هي أن علومًا — كالاقتصاد — أصابها الجمود في العصور الوسطى المبكرة في أوروبا.

الأرض تُصبح كروية مجدَّدًا

لحسن الحظ لم يمتدَّ تأثير القديس أوغسطينوس إلى الشرق الأوسط، وقد طُرد معظم المسيحيِّين المتعصبين الذين حاربوا الديانةَ الرومانية القديمة على يد العرب الفاتحين في القرن السابع الميلادي. وكان حكَّام المنطقة المسلمين أكثرَ تسامحًا بكثيرٍ تجاه التعاليم القديمة من أولئك الذين كانوا في الغرب، وبرزت عبر العالم الإسلامي مراكزُ فكرية مثل بيت الحكمة في بغداد، الذي تأسَّس على يد الخليفة المنصور في القرن الثامن. وحظيت أجزاءُ المخطوطات اليونانية التي أُنقِذت من المكتبات القديمة مثل مكتبة الإسكندرية بتقديرٍ كبير. وتُرجِمت الأعمال التي أُنقذت لأفلاطون وأرسطو وفيثاغورس وإقليدس وجالينوس وبطليموس بحماسةٍ كبيرة إلى العربية وشرَحها العلماء المسلمون ممن يقرءُون اليونانية أمثال الكندي (الذي وُلد حوالي عام ٨٠١) في بغداد، والذي كتب شروحاتٍ مؤثِّرة على

المنطق الأرسطي. واشتهرت عالمةُ الفلك من القرن العاشر الميلادي مريم الأسطرلابي — التي وُلِدت فيما يُعرف الآن باسم حلب بشمالي سوريا — باختراعها للأسطرلابات. ولم يدرس العلماءُ ممن يتحدثون العربية العلومَ اليونانية فحسب، بل مدَّ نطاقَها الكثيرُ منهم مثل ابن الهيثم الذي وُلِد في البصرة (٩٦٥–١٠٤٠ ميلاديًّا)، والذي يصِفُ عملُه المكوَّن من سبعة مجلدات عن علم البصريات بعنوان «كتاب المناظر» تجاربَه الرائدة عن الانعكاس، والتي برهنت على سبيل المثال على أن الضوء يتحرَّك دائمًا في خطوطٍ مستقيمة. كما كان هو أول مَن أدرك أن الرؤية تتطلب أن يدخل الضوء إلى العين. وتنعكس الهيمنة الإسلامية على الرياضيات عبْر العصور الوسطى المبكِّرة في الكلمات الإنجليزية ذات الجذور العربية مثل الجبر واللوغاريتمات، فيما تشهد كلماتٌ مثل الخيمياء والكحول والقلويات على الابتكار الإسلامي في الكيمياء. ولم تكن الاختراعاتُ التقنية العربية مثل طواحين الهواء والتقطير والأقلام والأزرار على سبيل المثال معروفةً في العالَم القديم.[5]

هذا، وقد ظلَّ الغرب في حالة ركود فكري حتى ارتقى جربير من أورياك — وهو عالِم كلاسيكي وهندسي وفلكي وفيلسوف — سُلَّم البابوية، وأصبح البابا سلفستر الثاني في عام ٩٩٩ ميلاديًّا. وقد ارتحل جربير كثيرًا قبل أن يصبح البابا، من ذلك السفرُ إلى إسبانيا؛ حيث اطلع على مخطوطاتٍ عربية ويونانية. كما شجَّع على إعادة استكشاف العلوم العربية واليونانية وتقديرها، وكذلك استخدام الأرقام الهندية العربية. حتى إنه امتلك ذات الحلقات، وهي نموذج للسماء مصنوعٌ من حلقاتٍ معدنية متحدة المركز ترتكز على نموذج دائري وليس مسطَّحًا للأرض. وخلافًا للأسطورة، لم يكن أحدٌ من المتعلِّمين من العصور الوسطى يظن أن الأرض مسطَّحة.

وقد تحوَّل تقطُّر العلمِ هذا من العالم القديم إلى فيضانٍ بعد أن سقطت ممالك البرابرة في إيبيريا وصقلية أثناء حروب الاسترداد المسيحي في أواخر القرن الثاني عشر والقرن الثالث عشر الميلاديَّين. إذ وجد الفرسان الصليبيون الذين اقتحموا بواباتِ المكتبات الإسلامية الكبرى في طليطلة وقرطبة وبَلَرْم أكثرَ الكنوز إثارةً للدهشة على الإطلاق: ألا وهو ماضيهم المطوي بالنسيان. حينها أدركت أوروبا الجائعة فكريًّا أن الفلسفة والعلوم الرومانية واليونانية التي هي عالَم من الأفكار ظنُّوا أنها فُقِدت إلى الأبد قد حُفِظت وجرى التوسُّع فيها في كتب أعدائهم. كان ذلك أحدَ أكثرِ أشكال التغيُّر المفاجئ إثارةً للسخرية على مرِّ التاريخ. فقد عمل العلماء المسلمون — مثل الكندي والموسوعي الفارسي ابن سينا (الذي وُلد سنة ٩٨٠ بهمدان في إيران) والمعروف عند الغرب بأفيسينا، أو ابن رشد

(الذي وُلد سنة ١١٢٦ في قرطبة بإسبانيا والمعروف عند الغرب باسم أفيروس) — طيلةَ قرون على ترجمة الأعمال اليونانية التي خطَّتها أعظم عقول أوروبا القديمة إلى العربية. وقد التهم العلماء الأوروبيون الذين يقرءُون العربية تلك الأعمال وترجموها إلى اللاتينية.

أشعلت هذه الترجمات للفلسفة والعلوم جذوةَ النشاط الفكري لتبدأ فترةٌ غير مسبوقة من التعلُّم في الغرب، والتي تُعرف في بعض الأحيان باسم نهضة القرن الثاني عشر. وقد فتحت المدارس الكهنوتية الكاتدرائية التي أُنشِئت عبر أوروبا أثناء العصر الكارلينجي أبوابَ فصولها أمام النصوص اليونانية والعربية. وحين سمِع الملك لويس التاسع ملكُ فرنسا أن أحدَ سلاطين المسلمين أسَّس مكتبةً بها مجموعةٌ متنوِّعة وضخمة من الكتب، قرَّر أن يفعل المِثل في المدرسة الباريسية التي أسَّسها روبرت دي سوربون حوالي عام ١١٥٠. وقد أصبحت السوربون — كما عُرفت فيما بعدُ — نواةَ جامعة باريس؛ حيث وصفَها العالِم والشاعر جان جيرسون بأنها «فردوس العالم، التي بها شجرة معرفة الخير والشر».

بحلول تلك الآونة، كان الفيلسوف المعادُ اكتشافُه، والذي كان له أكبرُ الأثر على العصور الوسطى المتأخرة هو أرسطو. وحين وصلت الترجمات اللاتينية للمصادر العربية إلى الغرب، انكبَّ العلماء — أو المدرسيون كما أصبح معروفًا عن العلماء الأرسطيِّين — على أعمال أرسطو والشروحات العربية لها، وكأنهم أعادوا اكتشافَ كنزٍ ثمين — وهو ما كان صحيحًا بالطبع. ترجَم روبرت جروستيست (١١٧٥–١٢٥٣) — الذي أصبح أسقفَ لينكن — الكثيرَ من أعمال أرسطو أثناء دراسته في جامعة أكسفورد، وفي الفترة بين ١٢٢٠ و١٢٣٥ كتب مجموعةً من الأطروحات العلمية عن الفلسفة والفلك والبصريات والاستدلال الرياضي. وترجم زميلُه العالِم في أكسفورد، الفرنسيسكاني روجر بيكون (١٢١٩–١٢٩٢)، أطروحاتِ أرسطو عن «علم المنظور» و«حول المعرفة التجريبية»، ممَّا ساعد في إعادة إحياء الاهتمام بالتجريب. وفي باريس، كتب مترجِمٌ آخرُ وهو ألبرت العظيم (١٢٠٠–١٢٨٠) كتابَه «شروحات حول كتاب أرسطو «الطبيعة»» بالإضافة إلى كتابه «أطروحة حول المعادن» الذي دمج فيه نظريةَ أرسطو عن السببية بملاحظاته، بل بتجاربه، مما أدَّى على نحوٍ أساسي إلى تأسيس علم المعادن الحديث. وفيه، شدَّد على أن «الهدف من الفلسفة الطبيعية ليس القبول بآراء الآخرين، بل تحرِّي الأسباب العاملة في الطبيعة».

ولم يجلِب المدرسيون الأوروبيون المعرفةَ اليونانية والعربية إلى الغرب فحسب، بل طبَّقوها أيضًا على مجالاتٍ جديدة للدراسة. على سبيل المثال، يصِف روبرت جروستيست

في كتابه «عن الألوان» الذي نُشر حوالي عام ١٢٢٥ حيزًا لونيًّا هندسيًّا ثلاثيَّ الأبعاد بطريقةٍ لا تختلف كثيرًا عن الطريقة التي نصِفُ بها الألوان التي نراها اليوم. كما كان هو أول مَن يشير إلى أن قوس قزح هو نتيجة انكسار الضوء.[6] وفي كتابه «العمل العظيم» الذي كتبه حوالي عام ١٢٦٦، نقل روجر بيكون الكثيرَ من أفكار أرسطو عن العلوم الطبيعية والقواعد النحوية والفلسفة والمنطق والرياضيات والفيزياء والبصريات، إلا أنه أضاف دراسةً للعدسات التي قد تكون هي ما ألهمت اختراعَ النظارات.

وفي حين كانت عمليةُ إعادة إحياء العلوم في أوروبا تمثِّل انطلاقةً كبرى وتشتمل على بعض الأفكار الجديدة حقًّا كما أوردنا بعاليه، فإن الكثير من أوجهِ التقدُّم الذي أحرزته تسبَّبت فحسب في وضعِ العلماء الأوروبيِّين في موضعٍ يواكب العالَم القديم والتقدُّم الذي أحرزه أهل الشرق. فجانب كبيرٌ من عمل روبرت جروستيست عن البصريات مبنيٌّ على أفكار الكندي عن البصريات؛ في حين أن أطروحة بيكون التي تتكوَّن من ٨٤٠ صفحة التي بعنوان «العمل العظيم» مأخوذةٌ في غالبها من «كتاب المناظر» لابن الهيثم. بل حتى مصطلحات مثل «التجربة» في أعمال بيكون تُعدُّ مضلِّلة للأذن الحديثة، حيث لم يعنِ المصطلح في العصور الوسطى إلا الملاحظة من الخبرة، كملاحظة ألوان قوس قزح، أو غليان الماء أو جاذبية المغناطيس. وقدَّم بيكون أيضًا أول استعراض للبارود واستخداماته في الألعاب النارية في الغرب، إلا أنه نشأ على الأرجح في العالم الإسلامي. مع ذلك، يُعَد أهمُّ تمييزٍ بين المعرفة في العصور الوسطى التي درسها جروستيست وبيكون، والعلوم الحديثة هو أن كليهما كان يعتبر أنه يبحث فرعًا من فروع اللاهوت. على سبيل المثال، كان جروستيست يؤمن أن كلَّ الضوء هو انبثاق من الرب[7] وشدَّد هو وبيكون على أن علم اللاهوت هو أساس كل العلوم.[8]

وعلى الرغم من تبعيتها إلى علم اللاهوت، فإن جلب الأفكار «الوثنية» إلى المسيحية لم يكن مرحَّبًا به من جميع اللاهوتيين بشكل موحَّد. إذ كان معظم التقليديِّين يخشون أن تودي قراءةُ أعمال أرسطو بصغارِ العلماء إلى الهرطقة. وقد وصل الأمر ذروته في السابع من مارس لعام ١٢٧٧، حين أصدر ستيفن توبييه أسقفُ باريس سلسلةً من أوامر الحظر تمنع تدريس ٢١٩ أطروحة فلسفية ولاهوتية، معظمها لأرسطو. وكانت معظم هذه الأوامر موجَّهة للاهوتيِّين الذين تجرَّءوا على وضعِ منطق أرسطو فوق القدرة الإلهية المطلقة؛ إذ كانوا يتجادلون على سبيل المثال بشأن قدرة الرب على خلقِ الفراغ باعتبار أن أرسطو كان قد أصرَّ على أن الفراغ هو أمرٌ مستحيل منطقيًّا. وقد طُبِّقت

أوامر الحظر عام ١٢٧٧ بصرامةٍ في باريس فحسب، إلا أن تأثيرها أدَّى إلى سيادة أسلوب ناقد أكثرَ تجاه أرسطو في معظم جامعات أوروبا الرائدة.

نحن نعلم اليوم أن هذه الانتكاسةَ كانت مؤقَّتة فقط. فبعد فترةٍ من التراجع، استمر التقدُّم، ونُسيَت أوامر الحظر وهيمن أرسطو مجددًا على مناهج الدراسة في الجامعات الغربية. لكن هذه النتيجة السعيدة لم تكن مضمونة. فقبل ذلك بمائتي عام، تسبَّب ردُّ فعلٍ عنيف مناهض للهلنستية والعقلانية في العالم الإسلامي روَّجت له مدرسة الأشاعرة السنيَّة الإسلامية في إطفاء جذوة «العصر الذهبي» للعلوم الإسلامية. تبعًا لذلك، قصَر العلماء العرب دراساتِهم على «الحقيقة الحرفية» للقرآن.[9] بالكثير تَدين العلومُ الأوروبية في العصور الوسطى أنها لم تُوأَد بالمِثل في مهدها إلى تأثيرِ توما الأكويني (١٢٢٥–١٢٧٤ ميلاديًّا)، أعظم اللاهوتيِّين في تلك الفترة، والذي وصل إلى باريس قبل ثلاثين عامًا من تطبيق أوامر الحظر.

الثور الأبكم

وُلِد الأكويني عام ١٢٢٥ لأسرةٍ إيطالية ثرية في روكاسيكا بوسط إيطاليا، وكان الابن التاسع لثيودورا كاراتشيولا، كونتيسة تيانو. تلقَّى توما تعليمَه الأساسي في مدرسة عامة في نابولي حيث اطلع للمرة الأولى على أفكار أرسطو والشارحين له من العرب، خاصة ابن رشد والفيلسوف اليهودي الشرقي موسى بن ميمون (الذي وُلد في عام ١١٣٨ في قرطبة بإسبانيا) والشهير في الغرب باسم ميمونيديس.

كانت أسرة توما تتوقَّع منه أن يصبح أبًا بنديكتيًّا، وهو منصب مربِح يمكن أن يربح للأسرة أراضي جديدة. لكن كانت لتوما أفكارٌ أخرى. إذ أراد بدلًا من ذلك أن يلتحِق برهبان الدومنيكان الذين كانوا — كرهبان الفرنسيسكان الذين انتمى إليهم الأوكامي — رهبنة دينية زاهدة معروفة بتوقيرها للعلوم الجديدة. بالنسبة إلى أسرته كان هذا في القرون الوسطى بمنزلة الالتحاق بطائفةٍ دينية غير مرغوب فيها؛ إذ كان ينظر لهؤلاء الزهادِ على أنهم أكثر احترامًا بالكاد من المتسوِّلين المتجولين. ولكي يمنعوا توما من الاضطلاع بهذا العمل الوضيع، لجأت أسرتُه إلى حبسه في القلعة التي تملِكها العائلة. بل إن إخوته احتالوا حتى ليدخلوا له عاهرة من أجل أن يغروه بالابتعاد عن تلك الحياة المتديِّنة. ويُقال إن توما رفضها وطاردها بعصًا مشتعلة. وقد ساعدته أخته في نهاية المطاف على الهرب بأن أنزلته في دلوٍ من برج القلعة إلى أيادي رفاقٍ له من الدومنيكان.

هرب الأكويني من إيطاليا وارتحل إلى مركز العلم في أوروبا في العصور الوسطى، وهي جامعة باريس، فوصلها حوالي عام ١٢٤٥.

بحلول ذلك الوقت، كان ألبرت العظيم، وهو أكثر المترجمين لأعمال أرسطو إنتاجًا وتأثيرًا في الغرب، يدرِّس بباريس منذ خمس سنوات. وقد لفت الراهب المبتدئ انتباهَ عالم اللاهوت المرموق باعتباره تلميذًا جديدًا خجولًا منطويًا على نفسه ودائمًا ما يتنابزه زملاؤه بلقب «الثور الأبكم»، وذلك لضخامة بنيته الجسدية وصلعه المبكِّر. إلا أن ألبرت انتبه إلى فطنة الدارس اليافع وتنبَّأ بأن «خُوار هذا الثور سيُسمع في أرجاء العالم أجمع». وقد كان محقًّا في ذلك.

وحين انتقل ألبرت إلى كولونيا ليدرِّس في مدرستها العامة، تبِعه الأكويني ببضع سنوات قليلة، ثم عاد إلى باريس ليدرس من أجل الحصول على شهادة الماجستير في علم اللاهوت ويكتب شروحاته عن «كتب الأحكام الأربعة».[10] كان هذا الكتاب قد كُتِب في القرن السابق بقلم العالِم الفرنسي بيتر لومبارد في شكل مجموعة من المقالات التي تتناول مشاكلَ شائكة كان اللاهوتيون مستمرين في التساؤل بشأنها، مثل «ما هي الإرادة الحرة؟» بالإضافة إلى أسئلةٍ تدمج بين اللاهوت والعلوم، مثل «بأي الأساليب يمكن للماء أن يكون فوق السماء، وما نوعيته؟». تعكس مثل هذه الأسئلة وجهًا رئيسيًّا من أوجه النظر إلى العالم في العصور الوسطى، والذي هو جليٌّ أيضًا في قصيدة دانتي العظيمة، والذي يتمثَّل في الاعتقاد بوجود عالمٍ واحد يشتمل على عناصرَ طبيعية وأخرى فائقة للطبيعة. وبعد عرض السؤال، يشتمل كل فصل على مجموعةٍ من الردود التي كتبها آباء الكنيسة. كان من المطلوب من كل تلامذة اللاهوت في العصور الوسطى أن يكتبوا شروحًا مطوَّلة على كتاب «كتب الأحكام الأربعة»؛ الأمر الذي هو أشبه بعمل أطروحة دكتوراه حديثة.

في عام ١٢٥٩، عاد الأكويني إلى إيطاليا وفي وقتٍ ما بين عامي ١٢٦٥ و١٢٧٤ (أي مباشرة قبل استنكار باريس لأفكار أرسطو) كتب أهم أعماله وهو «الخلاصة اللاهوتية»، الذي أصبح في غاية التأثير حتى إنه نجح تقريبًا في إضفاء روح القداسة على أرسطو في المسيحية الغربية. وبالفعل، في قصيدة «الكوميديا الإلهية»، يلتقي دانتي وبياتريتشي ببيتر لومبارد، وألبرت العظيم وتوما الأكويني في دائرة الشمس؛ لكن أرسطو وحدَه كان هو المعروف بـ «سيد العارفين».

وكان مبتغى الأكويني هو وضع نموذج عقلاني عن الكون مبني على علوم أرسطو، لكنه في الوقت نفسه يضم الرب والملائكة والقديسين والشياطين. لكن ولكي يجعل الربَّ

المسيحي متسقًا مع العلوم الأرسطية، كان على الأكويني أن يثبت أولًا وجودَه. ولكي يقوم بهذا العمل الفذ، درس الأكويني تحليلَ ذلك الفيلسوف العظيم عن الحركة والتغيير. كان أرسطو قد كتب يقول: «كل شيء يتحرَّك إنما هو يتحرَّك بفعل شيء». لكن، وعلى عكس نزعتنا الحديثة نحو البحث عن أسبابٍ فردية تفسِّر الأحداث، كأن تكون الشرارة هي سبب النار، قدَّم أرسطو أحداثًا لها أربعة أسباب أو علل مختلِفة للتغيير: وهي المادية والصورية والفاعلة والنهائية. لذا وعلى سبيل المثال، قد يكون الطوب هو السبب المادي لوجود المنزل، في حين أن شكله أو مخطَّطه هو السبب الصوري، أما مَن بناه فهو السبب الفاعل، وسببه النهائي «الغاية» هو أنه مكان لسكنى البشر.

لا تزال الأسباب الثلاثة الأولى مفهومة، رغم أننا قد نجادل بشأنِ ما إن كانت في حاجة لأن يتم تمييزها من الأساس؛ لكن السبب الرابع لدى أرسطو — وهو المنتهى — يختلف كثيرًا عن أي شيء في العلوم الحديثة لأنه يعكس الترتيب الزمني المعتاد بين الوسيلة والنتيجة. ففي حين أن الطوب والمخطَّط والبنَّاء تسبق وجود المنزل، فإن السبب الرابع عند أرسطو يكمُن في المستقبل. لكن بالنسبة إلى أرسطو والأكويني، ظلَّ المنتهى سببًا قويًّا لوجود المنزل بقدر الطوب المستخدَم في بنائه. يقدِّم هذا شيئًا من التفسير لما يبنيه البشر مثل المنازل، لكن أرسطو كان يعتقد أن كل شيء موجود لغاية. وهكذا، تسقط الأحجار إلى الأرض؛ لأن المنتهى بالنسبة إلى الحجر أن يكون بأقربِ ما يمكن لمركز الأرض؛ في حين أن منتهى وجود القمر هو أن يدور حول الأرض في دوائرَ مثالية. وبتمديد هذا إلى عالَم الأحياء، فإن منتهى وجود الكائنات الدنيا كالخنازير هو أن تخدم الكائناتِ العليا مثل البشر، وذلك بالتغذِّي عليها. بل إن الفيلسوف الروماني فيرو ذهب حتى إلى ما هو أبعد من ذلك، فأكَّد أن الغاية من الحياة بالنسبة إلى الخنزير هو أن يُبقي على لحمه طازجًا.

لكن أين يتوقَّف كل ذلك؟ ففي نهاية المطاف، مثل هذا التسلسل الهرمي من الغايات يمكن أن يؤدِّي إلى تراجع ونكوص لا نهائيَّين: فالغاية من نبات اللفت هو خنزير جائع، والغاية من الخنزير هي إنسان جائع، وما إلى ذلك. تجنَّب أرسطو هذه المشكلة بأن وضع سقفًا لتسلسلاته الهرمية من الأسباب بالمحرِّك الرئيسي أو الأولي، أو الرب، الذي هو الغاية الأولى والأخيرة من كل شيء. بالنسبة إلى الأكويني، كان هذا هو ما حسم الصفقةَ التي ضربها بين علم اللاهوت وفلسفة أرسطو. وعلى الرغم من أن المحرِّك الرئيسي لدى أرسطو كان كيانًا مجردًا أقربَ إلى شيء منه إلى شخص، وعلى العكس تمامًا من الإله المسيحي المجسَّد، فإن الأكويني دمجه بحماس في علم اللاهوت (حيث كان الإله مذكَّرًا دائمًا في

اعتبار اللاهوتيِّين في العصور الوسطى) بحيث أصبح الإله المذكور في الكتاب المقدَّس هو السببَين الفاعل والنهائي لكل شيء وكل شخص في عالم العصور الوسطى.

ساعد إدخالُ الأكويني الأسبابَ الأربعة لأرسطو إلى الفلسفة المسيحية في وضعه أربعةَ «أدلة» علمية من أصل خمسة على وجود الرب. وكانت ثلاثة من أصل أدلته أو «أساليبه الخمسة» تشدِّد على أن الرب المسيحي لا بد أنه كان السبب الأول المادي والصوري والفاعل لكل الأشياء والأحداث في العالم. وطبَّق المنطقَ نفسَه على دليله الرابع، قائلًا بأن: «هناك كيانًا ذكيًّا موجودًا تتوجَّه من خلاله كلُّ الأشياء إلى غايتها؛ وهذا الكيان هو ما نطلق نحن عليه الرب». لذا كان الرب هو السببَ النهائي، الغاية، لكل شيء حدث من قبلُ أو سيحدث. أما دليل الأكويني الخامس والذي يُعرف عادةً باسم «حجة التدرُّج» فكان شكلًا مغايرًا من الحجة الأنطولوجية[٢] الشهيرة التي طرحها الفيلسوف الفرنسي أنسلم من كانتربري (١٠٣٣–١١٠٩) قبل ذلك بقرن. إذ دفع الأكويني بأن أيَّ ترتيب صاعد من الأشياء الموجودة لا بد أن يعلوه الكيان الأعظم، والذي لا يمكن أن يكون سوى الرب.

زعم الأكويني بعد أن قدَّم خمسة براهين على وجود الرب أنه نجح في دمج الرب المسيحي في نموذجه عن الكون المبني على علوم أرسطو. كما زعم أنه أثبت أن اللاهوت عِلمٌ، بل هو «أبو العلوم». لكن هناك المزيد. إذا حاول الأكويني بعد ذلك أن يبرهن على أن بإمكان معرفته اللاهوتية تفسيرَ حتى المعجزات.

مذاق الرب

من شأنِ آخرِ ما قدَّمه الأكويني من تحايلٍ فلسفي أن يجرَّ على ويليام الأوكامي اتهامَه بالهرطقة لاحقًا بعد جيل، وبعد مرور قرن أو نحو ذلك أن يشعل شرارةَ الانشقاق الكبير في المسيحية الغربية. إذ تعلَّق الأمر بمعجزة القربان المقدَّس — أو مناولة القربان المقدَّس — والتي تحتل من القدَّاس المسيحي مكانةَ الجوهر اللاهوتي. ففيها يدعو القسُّ الربَّ من أجل أن يحوِّل — حرفيًّا — الخبز والنبيذ إلى جسد المسيح ودمه. صنَّف معظم اللاهوتيين هذه المعجزةَ الخاصة بالاستحالة — كما يُطلق عليها — في صنف الأحداث نفسه كمعجزة تحويل المسيح الماءَ إلى نبيذ أو شق موسى مياهَ البحر الأحمر. فهي تشتمل على تدخُّل إلهي، ومِن ثَم فلم يكن يُتوقَّع منها أن تتوافق مع القوانين العادية التي تنطبِق على الحياة اليومية. إلا أن الأكويني كان مقتنعًا أن بإمكانه دمْجَ المعجزات حتى

في نموذجه العلمي عن العالم. ومن أجل أن يفعل ذلك، استعان بهديةٍ أخرى من العالم القديم، ألا وهي الواقعية الفلسفية.

كان القديس أوغسطينوس قد أدخل بالفعل نظريةَ المُثُل الأفلاطونية إلى الكنيسة في العصور الوسطى المبكِّرة حيث أصبحت أفكارًا في عقل الإله. لكن بحلول القرن الثالث عشر، حلَّت محلها الكليَّات الأرسطية. وكانت تلك الكليَّات شبيهةً بالمُثل الأفلاطونية، غير أنها موجودة في العالم المادي، بحيث تملأ كل شيء بنوعٍ ما من جوهرٍ ما كان عليه. فكل شيء مستدير يتشارك جوهر الاستدارة المثالي؛ وكل النبلاء يتشاركون حصَّتهم من النبالة؛ وكل الآباء يتقاسمون جوهر — أو كلية — الأبوَّة.

من وجهة نظر علمية، كانت الكليَّات الأرسطية تمثِّل تطويرًا ضئيلًا لنظرية المُثل الأفلاطونية حيث كان يُنظر لتلك الكليَّات على أنها موجودة في العالم الحقيقي وليست في عالمٍ ما خفي. إلا أن هذه الفكرة خلقت مشكلة والتي تتمثل في السؤال: كيف نكتسب المعرفة بها؟ تم تخصيص مجموعاتٍ كبيرة من المخطوطات الأكاديمية للإجابة عن هذا السؤال من دون أن تأتي أيٌّ منها أبدًا بنتيجة. وكانت هناك مشكلة إضافية تكمُن في أن هناك الكثير من تلك الكليَّات: على الأقل واحدة لكل اسم أو فعل في لغتنا. وفي عمله «الفئات أو المقولات»، حاول أرسطو أن يرسي على ذلك شيئًا من النظام عن طريق وضع كل واحدة من الكليَّات في واحدةٍ من عشر فئات. وتشتمل تلك على الجوهر والكم والكيف والمكان والصلة والوضع وغير ذلك.

ما عناه أرسطو بالضبط بتصنيفه هذا للكليات لا يزال موضعَ جدال حتى يومنا هذا، لكن يمكن لنا أن نساوي أولها وهو الجوهر بالمفهوم الحديث لكلمة المادة. فهو يمثِّل «الجوهر» الثابت لشيءٍ ما، أي تكوينه من عناصر التراب أو الهواء أو النار أو الماء. أما الفئات الكلية الأخرى والتي تُعرف في الغالب باسم «العوارض» فهي تتصل بجوهر الشيء فتمدُّه بما يتميز به من شكل وملمس ومذاق وهيئة ورائحة. على سبيل المثال، تحتوي الأشياء المستديرة جميعها على صفة الاستدارة الكلية، وإن كانت تلك الأشياءُ مزدوجة بطبيعتها — كما هي الحال في الكرز — فإنها تشتمل أيضًا على صفة الثنائية الكلية بالإضافة إلى صفة الحلاوة الكلية، وهي كلها ترتبط بجوهر الكرز أو مادته. هذه هي الطريقة التي يصبح الكرز بها كرزًا. وفي حين أن جوهر الشيء يُعَد ثابتًا، فإن عوارضه كلونه أو هيئته في حالة تغيُّر وتحوُّل مستمر، على سبيل المثال، كأن تنمو ثمرة الكرز فتتحول من الأحمر اللامع إلى الأحمر القاتم بينما تنضج.

وكانت الكليَّات تقع من الفلسفة والعلوم في العصور الوسطى محلَّ الجوهر؛ لأنها تُعَد أساسَ منطقهما، وهو القياس المنطقي الأرسطي. عادة ما يتم توضيحُ البناء الأساسي لهذا المنطق بالإشارة إلى معلم أفلاطون الشهير: سقراط بشر، وكل البشر فانون، إذن سقراط فانٍ. تأسَّس هذا المنطق على مبدأ أن كل الأشياء يمكن تصنيفها طبقًا لصفاتها الكليَّة، مثل صفة «البشرية» الكلية. بمجرد أن نقبَل بهذا المبدأ، وبما أنك تعرف الصفات العرَضية للصفات الكلية مثل الفناء هنا، إذن بإمكانك التوصُّل إلى عباراتٍ علمية حاسمة، وستكون صحيحة حتمًا.

يعمل المنطق القياسي بشكلٍ جيد بالنسبة إلى المثال أعلاه، لكن إذا ما أجرينا تعديلًا بسيطًا — سقراط بشر وكل البشر لهم لحًى (كما ربما كانوا يفعلون في اليونان القديمة)، إذن سقراط له لحية — حينها يصبح هذا المبدأ أقلَّ وضوحًا كطريقة جيدة للتفكير في العالم. وكما سنكتشف، كان تقويض ويليام الأوكامي للمنطق القياسي أحدَ العوامل الملهِمة التي أدَّت إلى شفرته. لكن بالنسبة إلى الأكويني، كانت الكليَّات أكثر من مجرد أداةٍ للمنطق. إذ اعتقد أن حقيقتها المطْلَقة تكمُن في عقل الرب، وأن دراستها توفِّر رؤًى بشأن خطته. فلم تكن تلك الكليَّات شيئًا أقل من طيفٍ من أطياف السماء في العالم، والذي يملأ كلَّ الأشياء الدنيوية بالوجود المباشر للإله.

أدرك الأكويني أن معجزة القربان المقدَّس تمثِّل مشكلةً شائكة بالنسبة إلى نظرية الكليَّات لأن جوهر الخبز — الأساس الثابت الذي لا يتغيَّر (طبقًا لأرسطو) — يُعتقد أنه تحوَّل إلى جوهرٍ آخرَ مختلِف تمامَ الاختلاف وهو اللحم. وهذا هو السبب في تسمية المعجزة بالاستحالة. وهكذا بعد وقوع المعجزة، كان يُعتقَد أن الخبز — في حين أنه لا يزال يشبه الخبزَ في شكله — يتكوَّن من جوهر جسد المسيح (ولا زال الكاثوليك يعتقدون ذلك). وكان السؤال الذي أزعج المدرسيِّين هو: ما هي عوارض الخبز — مذاقه الذي هو مذاق الخبز أو مظهره المتفتت — التي ترتبط بجسد المسيح؟

في كتابه «الخلاصة اللاهوتية» استنبط الأكويني حلًّا عبقريًّا. إذ ادعى الأكويني أن عوارض الخبز — كمذاقه وقوامه ولونه وما إلى ذلك — أثناء وقوع المعجزة كانت مرتبطةً ليس بجوهره المعتاد بل بكَمِّه، وهو ما ظل على حاله بفعل المعجزة. إذ كان هناك خبز واحد قبل وقوع المعجزة ومسيح واحد بعدها. سمح هذا لمذاق الخبز أن يظلَّ ويبقى حتى بعد أن اختفى جوهره وتلاشى. ومِن ثَمَّ كانت معجزة الاستحالة كما ادعى الأكويني تتوافق تمامًا وعلم أرسطو: الذي هو درةٌ في تاج «أبو العلوم».

كان هذا هو التأثير الهائل لتوما الأكويني الذي جرى تقديسه[٣] بعد وفاته بخمسين عامًا فقط، حتى إن هذا التفسير الغريب أصبح هو العقيدة المعيارية في الكنيسة المسيحية والذي يظل على هذا النحو في يومنا هذا عند الكنيسة الكاثوليكية.[٤] وكما علَّقت العالمة المختصة بأمور العصور الوسطى إديث سيلا في سخرية جافة، فإن الأكويني اعتبر «أنه لم يكن يقدِّم عنصرًا فلسفيًّا غريبًا إلى عقيدةٍ مقدَّسة، بل كان يستخدم سببًا مطهَّرًا وجمعه بالتجلِّي ليصنع عِلمًا واحدًا مقدَّسا — فحين خُلِط ماء الفلسفة بنبيذ التجلِّي تحوَّل الماء نبيذًا».[11] ومن أجل هذا الجزء النهائي الخاص بمعرفته الأرسطية، حوَّل اللاهوت إلى علمٍ من العلوم.

قبل ذلك بقرابة قرنين، كان سقراط قد أصرَّ على أنه أكثر حكمة من رجل آخر، والسبب كما يقول هو: «أنا لا أتوهَّم أنني أعرف ما لا أعرف».[12] كانت تلك هي المشكلة الأساسية للمعرفة المدرسية.[٥] إذ ظن المدرسيون أنهم يعرفون كل شيء، لكنهم في الواقع كانوا لا يعرفون شيئًا. فمعرفتهم التي تعجُّ بالكيانات كان بإمكانها أن تفسِّر كل شيء، لكن من دون مبدأ التقتير لم تكن تتنبأ بأي شيء.

ولم يكتمل كتاب «الخلاصة اللاهوتية» للأكويني أبدًا. ففي ديسمبر لعام ١٢٧٣، تراءت لذلك اللاهوتي العظيم رؤيةٌ بينما كان يلقي قدَّاسًا؛ الأمر الذي خلَّفه غيرَ قادر على الكتابة أو الإملاء حتى بحيث كان «يبدو أن كل ما كتبت شيءٌ ضئيل القيمة»، وذلك بالمقارنة إلى ما راوده من رؤية. لاحقًا بعد جيل، وصل عالِم إلى أكسفورد بشفرة يشقُّ بها عُباب هذا الوهم.

هوامش

(١) بالكاد يستخدم علماءُ هذا العصر هذا المصطلح، والذين يشدِّدون على أن تلك القرون لم تكن بنفس قدْر الظُّلمة التي اشتهرت بها. لكن في ظنِّي أن ثمَّة تبريرًا لاستخدامه في السنوات الفوضوية التي تلت سقوط روما مباشرة في الغرب، ولو لمجرَّد أن خسارتها للعلم جعل تلك الحِقبة «مظلمة» من وجهة نظرنا.

(٢) الأنطولوجيا هو فرع الفلسفة الذي يختص بالتعاطي مع أسئلةٍ حول ما هو موجود وما هو غير موجود. وهو على عكس علم المعرفة الذي يختص بما يمكن أن نعرفه.

(٣) أصبح قديسًا بمقتضى العقيدة الكاثوليكية.

(٤) انظر على سبيل المثال http://www.faith.org.uk/article/a-match-made-in-heaven-the-doctrine-of-the-eucharist-and-aristotelian-metaphysics.

(٥) لربما كان أقربُ نظير حديث هو «اللاهوت التجريبي» الذي تصوَّره فيليب بولمان في ثلاثيته «مواده المظلمة».

الفصل الثالث

الشفرة

ويليام يرتاد الجامعة

استمر ما يحرزه ويليام من تقدُّم في «الفنون الثلاثة» و«الفنون الأربعة» من الفنون الحرة السبعة في مدرسة جرايفريارز في لندن بين ثلاث سنوات وست على الأرجح. ولا بد أنه أثار إعجاب معلميه؛ لأنه اختِير حينها ليدرس من أجل شهادة الدكتوراه في اللاهوت. وكانت مدرسة جرايفريارز تنتسب مجازًا إلى جامعة أكسفورد؛ لذا في وقتٍ ما حوالي عام ١٣١٠، حين كان ويليام يبلغ من العمر ثلاثةً وعشرين عامًا تقريبًا، انطلق ليكمل دراساته في أولى جامعات إنجلترا ليتدرَّب على أن يصبح عالِمًا أو رجلَ دين في العصور الوسطى.

كانت أكسفورد على بُعد يومين ركوبًا بالاتجاه الشمالي الغربي من لندن وعلى طول طريقٍ مزدحم. وكان الطريق يتعرَّض باستمرار لغارات جماعات اللصوص؛ لذا نزع الطلاب المبتدئون إلى التجمُّع معًا ليصحبهم «محضِر» محترف مسلَّح. وعلى الأرجح أن ويليام انضم لمثل هذه المجموعات. وقد نتخيَّله كالكاهن الشاب من «حكايات كانتربري» لجيفري تشوسر الذي «بدأ دراسة المنطق»، لكنه

كان سيفضِّل أن يحظى عند رأس سريره
بعشرين كتابًا بجلد أحمرَ أو أسودَ
من كتب أرسطو وفلسفته
على أن يحظى برداءٍ مترف أو كمان أو سنطور فاخر.[١]

بعد أن وصل إلى أكسفورد، التحق ويليام بدير فرنسيسكاني، ربما كان يوجد في جرايفريارز هول على إيفلي رود. كانت الجامعة قد تأسَّست قبل قرن واحد فقط أو نحو

ذلك، وكانت أصغر بكثير من نظيرتها الحديثة، فكانت تتكوَّن من حَفنة كليات بما فيها بيليل وميرتون، إضافة إلى عدة مدارس أسَّستها الرهبنتان الفرنسيسكانية والدومنيكانية. ولم يكن معظم الطلاب رهبانًا أو نسَّاكًا، لكن كان عليهم جميعًا أن يحلقوا رءوسهم ويرتدوا الرداءَ الإكليريكي من أجل أن يتمتعوا بالامتيازات الإكليريكية. وكانت أحد أنفع الامتيازات هي أن يُحاكم الطلاب حين يتم اتهامهم بجريمةٍ ما أمام محاكم كنسية بدلًا من أن تتم محاكمتهم أمام محاكم مدنية. وكانت تلك المحاكم الكنسية تحت رئاسة رئيس الجامعة، وفي بعض الأحيان كان بإمكانها أن تدَع طالبًا فاسدًا يفلت حرفيًّا بجريمة قتل.

وقد كوَّن طلابٌ من مناطقَ مختلفة من إنجلترا واسكتلندا وويلز وأيرلندا — وكان أكثرهم يافعًا بعمر الخامسة عشرة — جماعاتٍ تنخرط بانتظام في الشجارات والعراك. كما كانت المناوشات بين المدنيين والمنظمات الدينية المختلفة شائعةً أيضًا، كما هو الحال بالنسبة إلى صراعات جماعتي السكان «الجامعيين وغير الجامعيين» في المدن التي تكون غالبيةُ سكانها من طلاب الجامعة. قبل وصول ويليام بوقت قصير، تسبَّب نزاع بين الجامعة ومجموعة من الرهبان في فصل الأخيرين من الجامعة والهجوم على كنيستهم على يد زملائهم من الطلاب وتدنيسها. وكانت صراعات الطلاب تتفاقم بانتظام إلى الإصابة بالجروح وحتى وقوع حالات وفاة. وفي عام ١٢٩٨، قُتِل طالبٌ يُدعى فولك نيرميت بسهم رجل من قاطني المدينة فيما كان يقود هجومًا جماعيًّا في هاي ستريت مسلحًا بالأقواس والسهام والسيوف والتروس والحبال والأحجار.[1] في العام نفسه، طُعن طالبٌ أيرلندي يُدعى جون بورل حتى الموت في شجارٍ نشب في حانة. وكان الشجار بالسكاكين مصدرًا شائعًا للجروح، حيث كان الجميع — بمن في ذلك النسَّاك والرهبان — في كل أرجاء إنجلترا تقريبًا في العصور الوسطى يحملون سكاكينهم معهم أينما ذهبوا. وقال المؤرِّخ هيستنجز راشدال عن أكسفورد إنه كانت هناك «ساحات معارك تاريخية شهدت سفك دماء أقل منها»: وهي ملاحظة دعَّمها تقدير حديث لمعدلات القتل في أكسفورد في القرن الرابع عشر الميلادي، فكانت المعدلات أعلى بكثير من أعنف مدن يومنا هذا.[2]

بعيدًا عن كل هذا الصخب، كان ويليام يحضُر محاضرات في ديره وفي الأديرة وكليات الجامعة المجاورة. وحين تخرَّج، تعيَّن عليه أن يلقي محاضرات. وهذه المحاضرات كانت إما محادثات جامعية عادية تدوم حوالي الساعة أو «مناظرات» يستمع فيها الطلاب إلى الأساتذة يتجادلون في مسائلَ خلافية. وكانت الفصول الدراسية تُعقَد في حجرات لا

تختلف عن تلك التي لا تزال موجودة في الكليَّات الأقدم بأكسفورد أو كامبريدج، بمقاعد أو مكاتب خشبية للطلاب ومنصة للأساتذة. مع ذلك، وعلى عكس قاعات المحاضرات الحديثة، لم يكن هناك فصل بين الجالسين؛ لذا كان الطالب وأستاذه يشغلون المساحةَ نفسها. على الأرجح أن هذا أضاف إلى الجو الصاخب بصفة عامة، حيث كان الكثيرُ من الطلاب — خاصة المدنيين الذين كانوا يتحملون تكاليفَ تعليمهم — يتهكمون على الأستاذ الذي لا يتقاضى أجرَ ما يقوم به من عمل، ويقذفونه بالألفاظ.

وباعتباره طالبَ لاهوت، لا بد أن كتاب الدراسة الأساسي عند ويليام هو كتاب لومبارد «كتب الأحكام الأربعة». وكان السؤال الذي جذب انتباهَه بصفة خاصة هو «هل اللاهوت عِلم؟». لقد أصرَّ توما الأكويني على أن اللاهوت لم يكن عِلمًا فحسب، بل كان «ملِك العلوم». وقد خالفه ويليام الرأي.

المناظرات

مما يؤسف له أننا لا نملِك صورةً لويليام في شبابه، حيث إن الصور الشخصية التي تعود للقرن الرابع عشر كانت حكرًا فقط على الأشخاصِ ذوي النفوذ الكبير. لكن وبفضل شخبطة عالمٍ شابٍّ في هوامش ملحوظاته، لدينا رسمة لويليام، وإن كانت بعد مرور عشرين سنة منذ كان في أيام سنوات الجامعية. رسم تلك الرسمةَ كونراد دي فيبث من ماجدبورج — الذي من الواضح أنه كان معجبًا بالعالِم الأكبرِ منه سنًّا — والتي صاغها في نسخته الخاصة من كتاب الأوكامي الذي بعنوان «خلاصة المنطق» أثناء زيارةٍ له إلى ميونخ. وفي رسمة كونراد، يظهر الراهب النحيف الحليق الشعر حزينًا وضعيفًا بعض الشيء.[3]

أكمل ويليام شروحاته عن كتاب «كتب الأحكام الأربعة» في وقتٍ ما بين عامي ١٣١٧ و١٣١٩، حين كان يقارب الثلاثين من عمره. بعدئذٍ، طُلِب منه أن يلقي محاضرات في أكسفورد وربما في لندن. في تلك المرحلة بدأت شروحاته تُنشر. كانت الممارسة الشائعة بشأن ذلك هي أن أحد الطلاب الذين يحضُرون المحاضرة يدوِّن ملحوظات مفصَّلة عما يجري فيها بالحبر على ورق الرق، فيما يُعرف باسم «الشروحات الأولية» وبإمكان الطلاب الآخرين من داخل الجامعة وخارجها نسخها. وقد يصحِّح المحاضر ما دوَّنه الطالب ويحسِّنه لتحرير نسخة معتمدة، تُعرف باسم «الشروحات النهائية».

ومن المعروف عن ويليام أنه أنهى نسخةً نهائية عن شروحاته لكتاب لومبارد الأول من «كتب الأحكام الأربعة» بحلول العام ١٣٢٠، لكن النسخَ الوحيدة التي نجت لشروحاته عن الكتب الثلاثة الأخرى تظل مجرد شروحات أولية. وكان يتم تسجيل المناظرات أيضًا، وحين يصحِّحها المحاضر كان يُطلق عليها اسم المناظرات المدوَّنة النهائية. ومن تلك كان ويليام قد أنهى سبعًا بين عامي ١٣٢١ و١٣٢٤. بحلول ذلك الوقت، كتب ويليام أيضًا مقدِّمة طويلة عن عملَي أرسطو «الطبيعة» و«الفئات»، وأجاب عن سلسلة من الأسئلة عن كتاب «الطبيعة»، كما كتب العديدَ من الأعمال عن الفيزياء واللاهوت والمنطق.



شكل ٣-١: ويليام الأوكامي كما رسمه كونراد دي فيبث من ماجدبورج.

تدفَّقت أصوات أجراس الإنذار من أكسفورد، بمجرد أن أصبحت أعمال ويليام متاحةً تقريبًا. وتأتي أولى الإشارات على المشاكل من حقيقةِ أن ويليام لم يحقِّق تقدُّمًا على الطريق المعتاد لأن يصبح أستاذًا للاهوت في الجامعة. كان هذا الأمر غيرَ معتاد للغاية؛ لأنه استوفى جميع المتطلبات، وذلك بقدرِ ما تناهى إلى علمنا. وليس من الواضح مَن أو ماذا كان سببًا في منْع ويليام من تحقيق هذا التقدُّم. لكن المشتبَه به الرئيسي هو جون لوتريل، رئيس جامعة أكسفورد بين عامي ١٣١٧ و١٣٢٢، الذي كتب منشورًا عنوانه «عريضة ضد الأوكامي». إلا أن ويليام استمر في محاضراته وفي الرد على ناقديه. وكانت المناظرات المدوَّنة النهائية الخاصة بها ترتكز على محاضراته في الفترة من ١٣٢١ وحتى ١٣٢٤ بعد أن غادر لوتريل أكسفورد. بعض الأكاديميِّين الإنجليز الآخرين، ومن بينهم رجلٌ من كلية ميرتون يُدعى توماس برادواردين (١٢٩٠–١٣٤٩)، اتهموا ويليام بتدريس أفكارٍ تدعو إلى الهرطقة. في تلك الفترة كان كَتبة النُّسخ في القارة الأوروبية مشغولين أيضًا. وفي وقتٍ مبكِّر بين عامي ١٣١٩–١٣٢٠، كانت شروحات ويليام قد وصلت إلى فرنسا؛ حيث نالت استحسان عالِم فرنسي يُدعى فرانسيس من مارشيا.[4]

ولكي نفهم لماذا كانت أفكار ويليام تتسبَّب في مثل هذا الاهتياج، علينا أن نغوص عميقًا في مصدرها، الذي يذهب إلى عمقِ علاقة المرء بكلٍّ من العالم، وربه، إن قُبِل وجوده.

الإله المحتجِب

كان هجوم ويليام الأوكامي على الفلسفة المدرسية لسابقيه هو استمرارًا بطرقٍ كثيرة للجدال الذي كان قد بدأ قبل جيل في عام ١٢٧٧، حين حظر أسقف باريس توبييه مناقشةَ الأفكار التي بدا أنها تحدِّد قدرةَ الرب بالحدود التي وضعها منطق أرسطو. وقد أصرَّ الأسقف توبييه على أن الرب المسيحي مطلَق القدرة حرٌّ في فعلِ ما يحلو له، بغض النظر عما لدى أرسطو ليقوله في هذا الصدد.

لم يدُم الحظر الذي أقامه الأسقف، لكنه أثار تقييمًا أكثرَ انتقادًا لفلسفة أرسطو على يد العلماء المدرسيِّين ولا سيما فيما يتعلَّق بآثار القدرة الإلهية المطْلقة. كان هذا المفهوم دخيلًا على الفلسفة اليونانية الكلاسيكية؛ حيث كانت قدرات الآلهة اليونانية دائمًا محدودة: فبوسايدن كان يحكم البحارَ، لكن قدرته على السيطرة على اليابسة كانت ضئيلة. كان الرب المسيحي مختلِفًا كلَّ الاختلاف؛ حيث إنه لم يخلق الكونَ فحسب، بل وضع قوانينه أيضًا: فهو العليم وصاحب القدرة المطْلقة.

كانت تداعيات القدرة الإلهية المطْلقة تَهدِر عبْر أروقة أكسفورد طيلةَ جيل قبل قدوم ويليام إليها. كان سابقه دنس سكوتس (١٢٦٦–١٣٠٨) قد ناقش مشكلةَ معرفةِ الفَرق بين الصواب والخطأ إن كان بإمكان الرب أن يغيِّر القوانين على نحوٍ اعتباطي. وقد زاد ويليام على ذلك. ففي نهجٍ أنذر بما جرى على يد ديكارت من تفكيكٍ للفلسفة الغربية حتى وصل إلى المبدأ الشهير «أنا أفكِّر إذن أنا موجود»، استخدم الأوكامي شفرته ليجرِّد فلسفةَ العصور الوسطى من كل شيء عدا القدرة الإلهية المطلقة.

وكانت المشكلة التي واجهها ويليام حينها هي أن الرب صاحب القدرة المطْلقة — بالإضافة إلى أنه قاهر — كان أيضًا محتجِبًا ولا سبيل لمعرفته. تصبح هذه المشكلة واضحةً بعد أن نأخذ في اعتبارنا أن الإله القاهر ليس في حاجة لأن يتقيَّد بالمنطق البشري أو يتوافق معه — وهذا بغض النظر عن قانون عدم التناقض (على سبيل المثال، أن الرب لا يمكن له أن يوجد ولا يوجد في الوقت نفسه). قد يقوم الرب بأشياء غير منطقية على سبيل المثال، كأن يخلق النباتَ في اليوم الثالث من الخلق (كما هو مذكور في سِفر التكوين) قبل أن يخلق الضوءَ اللازم لنموه في اليوم التالي لذلك. وعلى الرغم من أن ترتيب الأحداث بهذا الشكل قد يتعارض مع منطق أرسطو، فإن من قدرةِ الرب أن تنمو النباتات في الظلام بقدرِ ما أراد من وقتٍ ومن دون أن يقدِّم للبشرية أيَّ سبب على اختياره القيام بذلك.

طبَّق ويليام النوعَ نفسه من التفكير ليهاجم العمود الفقري للفلسفة، وهو الواقعية. تذكُر أن الواقعيِّين من الفلاسفة اعتقدوا أن المُثل الأفلاطونية أو الكليَّات الأرسطية تُعَد أساسَ العالَم بأسره. فثمر الكرز هو ثمر كرزٍ لأنه يتشارك في كلية «الكرزية»؛ والآباء آباءً لأن صفة «الأبوة» الكليَّة تملؤهم.

لم يكن ويليام مقتنعًا بأيٍّ من ذلك. فحاجج بأن الإله مطْلق القدرة ليس بحاجةٍ للكليات. فإن كان باستطاعته أن يخلق كرزًا بصفاتٍ كلية مثل الاستدارة والاحمرار وما إلى ذلك، فبإمكانه إذن أن يخلق كرزًا من دون مثل هذه الكليَّات. كما دفع ويليام بأن الكليَّات ما هي إلا مصطلحات نستخدمها نحن لنشيرَ إلى مجموعات الأشياء، فكتب يقول: «من العبث استخدام عدد أكبر إن أمكن استخدام عدد أقل … لذا لا ينبغي أن نطرح أيَّ شيء آخر بعد المعرفة».[5] وأكمل ليؤكِّد أن «كل شيء متوقَّع من أشياء كثيرة [الكليَّات] هو من طبيعته في الذهن»، في إصرارٍ على أن الكليَّات هي مجرد أسماء نستخدمها لتصنيف الأشياء، وهذا يفسِّر مصطلح «الاسمانية» الذي يشير إلى النظام الفلسفي الذي ناصره ويليام في عالَم العصور الوسطى.

هنا يتسنَّى لنا أن نرى أول لقاء لنا بشفرة ويليام، في الحجة القائلة بأن: «من العبث استخدام عدد أكبر إن أمكن استخدام عدد أقل». هذه العبارة في حدِّ ذاتها لم تكن جديدة تمامًا. فقبل قرابة الألفي عام، كان أرسطو قد كتب في عمله «حركة الحيوانات» أن «الطبيعة لا تفعل شيئًا هباءً». مع ذلك، يستخدم ويليام شفرته ليهاجم بها المنطقَ الذي يشكِّل أساسَ الكليَّات، بدلًا من أن يكون حجةً للاقتصاد في الطبيعة. فكتب يقول: «الكليَّات ليست شيئًا حقيقيًّا له كيانات نفسية في الروح أو خارجها. إنما هي فقط كياناتٌ منطقية في الروح ونوع من أنواع الخيال …».[6] شدَّد ويليام على أن الكليَّات لا تتمتَّع بوجودٍ خارج نطاق العقل؛ لذا ولكي يتجنَّب الخلط بين الأفكار والواقع، حثَّنا على «ألا نضاعف الكليَّات بغير حاجة».[7]

كان هذا الرفض لـ «مضاعفة الكليَّات بغير حاجة» هو الفكرةَ الأساسية التي تقف خلف شفرة أوكام. إذ ينبغي لنا فقط أن نسمح بأقلِّ عدد من الكيانات في تفسيراتنا أو نماذجنا عن الواقع. فبدلًا من أن يكون الآباء مملوئين بجوهر الأبوة، شدَّد الأوكامي على أنه «ينبغي أن نقول بدلًا من ذلك إن الرجل أبٌ لأن لديه ابنًا [أو ابنة]».[8] هذه الجملة في غاية البداهة حتى إنها قد تبدو اليومَ تافهة، ومن الصعب علينا أن نقدِّر تأثيرها الثوري. لكن، بضربة واحدة من شفرته، بدَّد ويليام غابةَ الكيانات الشاسعة التي كانت فلسفة وعلوم العصور الوسطى تضجان بها، وأمسى العالَم فجأة أبسطَ وأكثر قابلية للفهم. على النقيض من ذلك، وعلى الرغم من أن شخصياتٍ مثل أرسطو وبطليموس والأكويني وآخرين كانوا يقرُّون بأهمية البساطة، فإنهم لم يجدوا غضاضةً في إضافة المزيد من التعقيد متى كان ذلك مناسبًا لهم. لكن ويليام لم يكن على ذلك النحو. وهذا هو السبب وراء تسمية مبدأ التقتير باسم شفرة أوكام بعد مرور خمسة قرون على زمنه، وليس شفرة أرسطو أو بطليموس أو الأكويني.

كان في نبذ الكليَّات أيضًا تقويضٌ لحجر الزاوية في منطق العصور الوسطى، وهو القياس المنطقي. تذكَّر أن المنطقَ القائل بأن «كل البشر فانون. سقراط بشر، إذن سقراط فانٍ» يعتمد على أن كل البشر يتشاركون في كليَّات كـ «البشرية» أو الفناء. لكن إن كان الشيء الوحيد الشائع بين سقراط، ولنقل أفلاطون، هو مجرَّد كلمة — وهي كلمة بشر — فإن حقيقةَ أن سقراط فانٍ لا تقول شيئًا عما إن كان أفلاطون أو أي بشري آخر يتصف بالفناء. هنا ارتعب المدرسيون. فأنَّى لهم إذن أن يكتسبوا معرفةً بالعالَم؟ بالنسبة إلى الأوكامي، كانت هناك طريقة واحدة أكيدة لاكتشاف ما إن كان المرء

فانيًا: أطلِق عليه سهمًا ولاحظْ ما إن كان سينجو. في منطق الأوكامي، الخالي من الكليَّات المليء فقط بالفرديات، تكون الطريقة الوحيدة للحصول على معرفةٍ موثوق فيها هي من خلال الخبرة والملاحظة. بالطبع يُعَد هذا هو حجرَ الأساس للعلوم الحديثة.

لكن من المهم أن نفهم أن هذا المنهج التجريبي لا يحتوي على أيِّ شيء مؤكَّد بيقين. فسهمٌ واحد قد يثبت أن سقراط فانٍ، لكن لا يمكن له أن يثبت أن «كل البشر فانون». ومائة سهم يصيبون مائة رجل قد تسمح لنا بأن نتقدَّم بالفرضية التي تقول إن كل البشر فانون، لكن بالنسبة إلى الأوكامي، كلُّ الفرضيات مؤقَّتة واحتمالية وعُرضة لأن يدحضها السهمُ رقم مائة وواحد. يرى الأوكامي أن هذا يمثِّل اختلافًا مهمًّا آخر بين العلم والدين. فمن وجهة نظر الراهب الفرنسيسكاني، كان وجود الرب يقينيًّا، لكن لا يمكن للعلم إلا أن يتشكَّل من الفرضيات. ورأى الأوكامي أن العلم يُثمر عن احتمالاتٍ وليس أدلة.

ليس من الصعب أن نرى لماذا تسبَّبت شفرة أوكام في هذا الاهتياج. فطيلة قرون عديدة، تجادل المدرسيون فيما بينهم حول طبيعة الكليَّات والفئات، لكن بجرات قليلة بقلمه رأى الأوكامي أن النظام بأكمله مضيعة للوقت؛ كالشيء الضئيل القيمة الذي بكى عليه الأكويني.

ويليام يطيح بالمَلِك عن عرشه

لم يكتفِ ويليام بسحق الواقعية الفلسفية، فانطلق ليهاجم الأدلةَ العلمية على وجود الرب التي وضعها الأكويني وآخرون. تتذكَّر أن الأكويني في أربعةٍ من أساليبه الخمسة كان قد دفع بأن الأسباب الأرسطية (المادية والصورية والفاعلة والنهائية) قد تؤدي إلى سلاسلَ لا نهائية من الأسباب والنتائج التي لا بد أن يعلوها سببٌ أول، وهو الرب. فأشار ويليام إلى أن سلاسلَ الأسباب والنتائج لا تؤدِّي بالضرورة إلى ارتدادٍ لا نهائي يحتاج إلى وضعِ حدٍّ له. إذ يمكنك على سبيل المثال أن تتخيَّل كونًا مملوءًا بثلاثة أشياء فحسب، تقضي الأبدية في ارتطام مستمر فيما بينها مما يُنتِج أسبابًا (ارتطامات) ونتائجَ (مسارات متغيِّرة)، لكنها تظل مع ذلك ثلاثة أشياء قابلة للعد. وإن لم يكن هناك ارتداد لا نهائي، إذن فليس هناك حاجة لحدٍّ إلهي. فالإله في إطار شفرة أوكام هو كيان يتجاوز حدود الضرورة، ومِن ثَمَّ فإن حجَّة الأكويني اللبقة هذه لا يمكن أن تثبِت وجوده.

وبالنسبة إلى «حجَّة التدرُّج» لدى الأكويني، فيقرُّ الأوكامي أولًا بأن نظامًا متسلسلًا من الأشياء الأفضل هو نظامٌ لا بد له بالفعل أن يُحدَّ بأفضل شيء. لكنه يشير إلى أن هناك تعدُّدية «للأفضل»، وكلٌّ منها يمكن أن يُحدَّ بأفضل ما فيها. على سبيل المثال، لربما تجادل الأوكامي ومعاصروه حول الأجمل من بين كاتدرائية نوتردام بباريس وكاتدرائية كانتربري؛ أو لربما تجادلوا بشأن أكثر الأقسام شعريةً في «الكوميديا الإلهية» لدانتي. لكن، ما كان الجدال بشأنِ ما إن كانت كاتدرائية كانتربري أفضلَ من «الكوميديا الإلهية» ليكون له أي معنًى. وهكذا فإن حجَّة التدرُّج عند الأكويني يمكن أن يكون لها عدة حدود مختلفة مثل البشر أو الإله أو الحمار، والأمر في ذلك يتوقَّف على الملمَح الذي يُصنَّف.

لكن أبقى الأوكامي على الجزء الأهم لحججه المعارِضة للأدلة على وجود الرب من أجل العدوِّ الأول للعلم، وهو الغائية. تتذكَّر أن الغاية هي السبب الرابع من أسباب أرسطو، وهي تقبَع بخلاف الأسباب الأخرى في المستقبل وليس في الماضي. فغاية وجود الخنازير أن تُؤكل. إن الغائية تقوِّض العلوم الحديثة لأنها تقوِّض أساسها القائم على السببية والذي يمتد تأثيرُه من الماضي إلى الحاضر ثم إلى المستقبل. وحيث إننا ليس لدينا وصول للمستقبل، فإن ترْك مساحة للأسباب التي تكمُن في المستقبل يجعل العلوم شيئًا مستحيلًا. إلا أن الأكويني كان قد دفع بحتميةِ أن يكون الرب هو السببَ النهائي، أو الغاية، لكل شيء في العالم. وإن كان محقًّا، فسيكون العالَم غير قابل لأن نتعرَّف عليه؛ حيث إن غايات الرب ليست متاحة لأن يعرفها البشر.

في البداية أقرَّ ويليام بأن الأهداف الغائية قد تكون ملائمةً للأفعال البشرية الطوعية، كبناء منزل مثلًا؛[9] لكن الأحداث التي لا يكون سببها عواملَ عاقلة لا تتمتَّع بأي نوع من أنواع الأسباب النهائية أو الغايات. ودفع بدلًا من ذلك بالآتي: «إذا ما لم أقبل بأي سلطة، فيمكن[٢] لي أن أدَّعي أنها لا يمكن إثباتها إما من عبارات معروفة بنفسها أو من خبرةٍ تقول بأن كل نتيجة لها سبب نهائي ... ويكون السؤال «لماذا؟» غيرَ ملائم في حالة الأفعال الطبيعية».[10] وأصرَّ على أن الماضي أو الحاضر يقدِّم سببًا كافيًا لأي حدث. إذ يقول: «قد تسأل لماذا تسخِّن النارُ الخشب ولا تبرِّده؟ وأجيبك بأن هذه هي طبيعتها». بهذه الحركة، أبطل الأوكامي الغائيةَ ليؤسِّس لتوجُّه السببية في العلم الحديث.[٣] إذ أصبحت الغايات كيانًا آخرَ يتجاوز حدودَ الحاجة.

بعد ثلاثمائة عام وبقدرٍ من التباهي أكبرَ بكثير، نسب أكبرُ علماء وفلاسفة ما يُسمى بعصر التنوير أو عصر المنطق إلى أنفسهم فصْلَ الغائية عن العلوم الحديثة. إلا

أن الأوكامي كان قد أقام الحجَّة على الغائية باقتضابٍ أكثر وبتباهٍ أقلَّ بكثيرٍ عن طريق الإصرار على ما يلي: «كلا، يتحدَّد العامل الطبيعي سلفًا بطبيعته، وليس بغايته».[11] وبعد أن أُبعِدت الغائية، أصبح الرب كيانًا يتجاوز حدودَ الحاجة فيما يتعلَّق بالسببية في العالَم، وبهذا سُحِق آخرُ أدلة الأكويني على وجود الرب.

بعد هدم ودحض الواقعية الفلسفية — مفهوم الأنواع والأدلة الخمسة الأكثر رسوخًا على وجود الرب — كان معظم العلماء ليقنعون بما قدَّمه معلِّمهم. إلا أن ويليام كان يضع نُصبَه هدفًا مهمًّا آخرَ، والذي يتمثَّل في تحايل الأكويني الفلسفي فيما يتعلَّق بالمعجزة الأساسية في المسيحية، وهي القربان المقدَّس.

خلعُ مَلكِ العلوم

تتذكَّر أن الأكويني تلاعب ببراعة بمفهومِ أرسطو عن الكليَّات من أجل أن يضمِّن معجزةَ القربان المقدَّس في علمه المسيحي. وقد أنكرت فلسفةُ ويليام الأوكامي الاسمانية أن الكليَّات موجودة. ومع رفضِ الكليَّات باعتبارها مجردَ أسماء، انطلق ويليام ليرفض عشرًا من الفئات الأرسطية الاثنتي عشرة، فقلَّصها إلى اثنتين فقط: وهما الجوهر والكيف. لقد استخدم شفرته مرةً أخرى. على سبيل المثال، وفيما يتعلَّق بالكم، رأى الأوكامي أن جوهر الثنائية في الأشياء التي توجد في أزواج — ككرسيِّين مثلًا في حجرة — هو جوهر غير منطقي. فقد يكون ثمَّة كرسيان آخران في غرفةٍ مجاورة، ومِن ثَمَّ وإذا ما أزلنا ببساطة الجدارَ الحاجز بين الغرفتين فستتحول ثنائية الكرسيَّين إلى رباعية. لكن كيف يمكن لشيء حقيقي في الكرسي أن يتأثَّر بإزالة جدارٍ ليس له صلة بالكرسي؟ وخلَص ويليام إلى أنه «ليس هناك كمٌّ مميَّز عن الجوهر أو الكيف».[12] وأصبح الكمُّ كفئةٍ أرسطية كيانًا يتجاوز حدودَ الضرورة وينبغي إبعاده.[13]

لكن القديس توما الأكويني كان قد خبَّأ طعمَ الخبز ورائحته وقوامه في معجزة القربان المقدَّس في فئة الكم. إذ قبل المعجزة كان هناك رغيف خبز واحد، وبعد وقوع المعجزة كان هناك مسيح واحد. وبالتخلُّص من الكلية الخاصة بالكم كان الأوكامي قد تخلَّص من الأساس الذي ضمَّن من خلاله الأكويني المعجزةَ في العلم. وهنا أطيح بمَلكِ العلوم عن عرشه.

الدفاع عن الطريق الثالث

> [فيما يتعلَّق باللاهوت] إنه ليس بالعلم الأول أو الأخير أو الأوسط لأنه ليس بعلم ملائم ...
>
> ويليام الأوكامي[14]

لم يتوقَّف ويليام عند حدِّ الإطاحة بمَلك العلوم عند الأكويني. ففي خطوة أخرى غير عادية، دفع ويليام بأن العلم والدين غير متوافقَين بشكلٍ أساسي وغير قابل للتغيير. وقد تأتَّى هذا من إصراره على أن الإله يتخطى حدود العقل البشري، بحيث إن العقل البشري غير قادر على اكتساب المعرفة عن الإله. فالسبيل الوحيد لمعرفة الإله هو الإيمان والكتب المقدَّسة. علاوة على ذلك، فإن متراس العلم يعمل في كلا الاتجاهين: معرفة الإله المكتسبة عبر الإيمان والكتب المقدَّسة لا يمكن لها أن تقدِّم معرفةً عن العالم. لذا كان العلم واللاهوت أسلوبَين متباينَين ومتنافرَين تمامًا من أساليب التحقيق البشري. وكتب الأوكامي أنه «من المستحيل أن نعتقد بصحةِ مبادئ [اللاهوت] بسبب الإيمان فحسب، وأن نعرف استنتاجاته علميًّا ... ومن العبث أن أدَّعي أن لديَّ معرفةً علمية باستنتاجات علم اللاهوت بسبب حقيقة أن الإله يعرف مبادئَ أعتقد بصحتها بسبب الإيمان».[15]

بالطبع كان ويليام راهبًا فرنسيسكانيًّا. وعلى قدرِ علمِنا، لم يشكَّ أبدًا لا في وجود الإله، ولا في المعتقدات الرئيسية للمسيحية. إلا أنه كان يصر على أن الدِّين لا يأتي من العقل، بل من الإيمانِ ودراسة الكتب المقدَّسة، وكلاهما لا يقدِّم اليقين اللازم في العلم. لذا تبنَّى الفلسفة الإيمانية ليدفع بأن «الإيمان وحدَه يسمح لنا بالوصول إلى الحقائق اللاهوتية. وأساليب الإله ليست متاحةً أمام العقل ...».[16] الإيمان يصل بنا إلى الإله. أما العقل فنعرف به حقائقَ العلم. ورغم أن بعض الفلاسفة القدماء كالرواقيِّين والأبيقوريِّين والفلاسفة المسلمين[٤] دفعوا بوجود فصلٍ محدود بين الدين والعلم، فإن أحدًا قبل الأوكامي لم يدفع بحجةٍ كهذه الحجَّة الواضحة المقنعة الخاصة بأساس العلم الحديث: وهي فصل العلم عن الدين. إن عالَمنا العلماني على نحوٍ كبير هو النتيجة المحتومة لمنطق الأوكامي الحازم.

لقد فتحت شفرة أوكام، بالإضافة إلى فلسفته الاسمانية والإيمانية، على نحوٍ أساسي طريقًا ثالثًا بين الدِّين والإلحاد.[٥] إذ سمحت للعلماء أن يسعوا إلى علمٍ علماني فيما يظلُّون

متدينين. وأصرَّ الأوكامي على أن «الافتراضات، في الفيزياء خاصة، والتي لا تتصل بعلم اللاهوت، لا ينبغي لأي أحد أن يدينها أو يحظرها رسميًّا؛ إذ ينبغي لكل أحد أن يكون حرًّا في مثل هذه الأشياء بحيث يتسنَّى له أن يقول ما يريد».[17] وكل العلماء العظام الذين عاشوا في القرن الرابع عشر وحتى القرن التاسع عشر على الأقل كانوا مسيحيِّين متدينين اختاروا أن يتَّبعوا طريقَ الأوكامي الثالث.

ومع ذلك، تسبَّب كل هذا في إزعاجٍ شديد لرفاق الأوكامي في القرن الرابع عشر في أكسفورد ولندن. فاللاهوتيون الذين كدحوا من أجل بناء علمٍ من مجال تخصصهم كانوا غاضبين أشدَّ الغضب، وكان الفُطُن من بينهم قد أدركوا أن إصرارَ ويليام على الطبيعة غير القابلة للمعرفة للإله قد قلَّص بصورةٍ فاعلة من مجال تخصُّصهم إلى ما هو أكثر قليلًا من قراءة الكتاب المقدَّس. وكان الفلاسفة الواقعيون منزعجين بالقدرِ نفسه. إذ ظنُّوا أن إصرار الأوكامي على أن الكليَّات هي خيالات عقلية هو أمرٌ يرادف إخبار أحد رجال الاقتصاد بأن المال غير موجود.

ويليام يتورَّط في المتاعب

كلٌّ من والتر بيرلي (١٢٧٥–١٣٤٤) ووالتر تشاتون (١٢٩٠–١٣٤٣) — وهما محافظان تلقَّيا التدريبَ في كلية ميرتون في أكسفورد في نفس الوقت الذي تلقَّى فيه ويليام تدريبه تقريبًا — كانا يحاضران ويكتبان الأطروحات التي تعارض منهجَ ويليام الاسماني الثوري. وقد تذكَّر أحد تلامذة الأوكامي وأنصاره — واسمه آدم وودهام — أنه دوَّن ملاحظاتٍ عما قاله تشاتون في إحدى محاضراته، فهُرع بها إلى معلِّمه (الأوكامي) الذي كتب ردًّا سريعًا يشتكي فيه من «افتراء بعض ناقديه».[18]

وفي ربيع عام ١٣٢٣ — حين كان ويليام في نحو الثامنة والثلاثين من عمره — دُعي ليدافع عن آرائه في اجتماعٍ إقليمي لرهبنة الفرنسيسكان أُقيم في كامبريدج. من الواضح أنه لم يبذل جهدًا كبيرًا لتهدئة ناقديه، فاستمرت الشائعات عن أفكاره الجذرية في التسرُّب خارج أكسفورد ولندن حتى استرعت في نهاية المطاف انتباه أقوى رجل في العالم المسيحي. وصلت المفاجأة المذهلة إلى أكسفورد في وقتٍ مبكِّر من عام ١٣٢٤: إذ وصل استدعاء من البابا يطلب حضورَ ويليام جلسات استماع في أفينيون، وهي مقام المقعد البابوي في ذلك الوقت، ليرد على اتهامات بتدريس الهرطقة.

أفينيون

... أنا على دراية تامة بخبث البشر ...

ويليام الأوكامي، ١٣٣٥[19]

لم يتضح مَن نبَّه البابا إلى ما قد تنطوي عليه أفكارُ ويليام من هرطقة، لكن جون لوتريل الرئيس السابق لجامعة أكسفورد كان في الصورة مجددًا. كان قد سافر إلى أفينيون في عام ١٣٢٣ يبتغي ترقيةً على الأرجح. وكان البابا جون الثاني والعشرون قد طلب منه أن يفحص شروحاتِ ويليام لكتاب لومبارد «كتب الأحكام الأربعة» بحثًا عن آراءٍ مهرطقة محتملة. في اليوم التالي قدَّم لوتريل بيانًا بثلاثة وخمسين «خطأً»، معظمها يتعلَّق برفض الأوكامي لفئة الكم لأرسطو، وهي المسألة التي كانت تتعلَّق بشدة بمعجزة القربان المقدَّس. وقد استجاب البابا لذلك بأن استدعى ويليام إلى أفينيون لتستجوبه لجنةٌ مكوَّنة من ستة أساتذة كبار بينهم لوتريل.

لا بد أن أخبار اتهام البابا لواحد من الرهبان بالهرطقة قد تسبَّبت في اضطراب واهتياج في أروقة لندن وأكسفورد. فالجميع كان يعرف طريقةَ الموت التي تنتظر المهرطقين غير التائبين. ويمكن للمتهم أن يتجنَّب المحرقةَ دائمًا بأن يتخلى عن آرائه المهرطقة، لكن هل سيفعل ويليام ذلك؟ حيث إنه الآن في أواخر الثلاثينيات من عمره، كان ما يُعرف عنه من عنادٍ يشي بأنه قد يستمر على الأرجح في الجدال مع مَن اتهموه فيما تلتهب ألسنةُ النار تحت أقدامه.

انطلق ويليام إلى مدينة أفينيون، بعد استدعائه بوقت قصير. ولا بد أنه سلك طريقًا جنوبيًّا إلى دوفر، ومن هناك عبَر القناة الإنجليزية فيما كانت بشكلٍ شبه مؤكَّد رحلتَه البحرية الأولى. وبمجرد أن وصل ويليام إلى فرنسا، فعلى الأرجح كثيرًا أنه سلك طريقًا عبْر باريس. فهل حظي بفرصة لقاء العلماء والتدريس هناك؟ ليس هناك دليلٌ على ذلك، لكن إن كان قد فعل، فقد يساعد هذا في تفسيرِ تبني بعض العلماء الباريسيِّين أفكارَه بحماسةٍ شديدة. بعدها لا بد أنه سلك الطريقَ الروماني القديم جنوبًا ليصل إلى أفينيون بحلول وقت مبكِّر من صيف ١٣٢٤ على الأرجح.

كانت مدينة أفينيون قد أصبحت مقامَ المقعد البابوي بعد أن هرب البابا كليمنت الخامس من روما المضطربة قبل ذلك بعشرين عامًا.[20] إذ عرض فيليب الرابع ملكُ فرنسا أن تصبح المدينة العاصمةَ البابوية، وقبِل بها كليمنت في سرور. إلا أن المدينة

لم تكن راقية. إذ كانت شهيرةً بأنها مضرة بالصحة حيث تفتقر إلى المجاري، وكان اللصوص المحترفون والشحاذون وبائعات الهوى يستوطنونها. كان الشاعر والإنسانوي بيترارك — الذي كان يعيش في أفينيون في نحو الوقت الذي وصل فيه ويليام إليها — قد وصف المدينة بأنها «بابل الدنسة، جحيم الأرض، مستودع الرذيلة، بالوعة العالم ... رائحتها الكريهة هي الأسوأ من بين كل المدن التي أعرفها». كان كليمنت هو البابا الأول من بين تسعةٍ أقاموا في أفينيون الكريهةِ الرائحة.

كان خليفة كليمنت الخامس — وهو جون الثاني والعشرون — هو مَن استدعى ويليام. وكان يقطُن في قصر الأسقف القديم فيما كان قصره الجديد — قصر البابوات المهيب — بأبراجه القوطية المميزة لا يزال قيدَ الإنشاء. وفي نهاية المطاف ضُمِّن القصر القديم في البناء الجديد؛ لذا من المرجَّح أن محاكمة ويليام جرت على أرض قصر البابوات الموجود اليوم.

وقد اشتملت المحاكمة على سلسلةٍ من جلسات الاستماع دافع فيها ويليام عن آرائه أمام لجنةٍ مكوَّنة من ستة أساتذة كبار، وكان البابا يحضُرها بين الحين والآخر. وبعد جلسة الاستماع، كان الأساتذة يتباحثون ويتداولون فيما بينهم سرًّا قبل أن يقدِّموا تقريرهم. في البداية تأكدوا من خطأ بعض اتهامات لوتريل، لكنهم قبِلوا اتهاماتٍ أخرى، بل أضافوا اتهامات من عندهم. وردَّ الأوكامي على ذلك بأن دافع بقوة عن وجهة نظره الاسمانية والتقليلية في نصٍّ أثار الجدل بشدة بعنوان «سر المذبح»، تتناول حجَّته الافتتاحية مسألةَ «ما إن كانت النقطة شيئًا مطلقًا ومميَّزًا فعلًا من حيث الكم» ثم اختتم بأن «النقطة ليست بشيء مميز عن الخط، أو أي كم». وعلى الرغم من أن موضوع هذا النص قد يبدو متخصِّصًا بشدة، فإن الأمر المثير للدهشة كيف أن حجج ويليام متجذِّرة في أصول المنطق — المنطق الرياضي بالطبع — مثل التمييز — إن كان موجودًا — بين النقطة والخط. لم يكن ذلك حينها قد أصبح علمًا بعدُ، لكنه كان مقاربًا لذلك، وكان يسلِّط الضوء على جهود ويليام لاستخدام المنطق في اجتثاث اللاهوت من المنهج التجريبي الذي هو أساس العلم. ويواصل ويليام — لربما في تهوُّر — في التشكيك في كفاءة اللجنة، مصرِّحًا بأنه «إن كان لدى أيٍّ من علماء اللاهوت البارزين والقديسين دليلٌ على أن الكم شيء مطْلق ومميَّز عن الجوهر والكيف، فيقع على عاتق الأساتذة أن يذكروا مصادرهم».[21]

في تلك الأثناء، كان ويليام مجبرًا على أن يظلَّ في المدينة حيث أقام في دير الفرنسيسكان المحلي. وعلى الأرجح أنه أكمل أعظمَ أعماله الفلسفية هناك، وهو كتاب «خلاصة المنطق».

من الواضح أن ذلك الكتاب كان مثيرًا للغضب والاستفزاز، حيث كان يدل ضمنيًّا على أن مجلَّدًا واحدًا — بآرائه الاسمانية القوية — يحتوي على كل شيء من الأجدر أن نعرف به عن مجال المنطق. ففيه يشدِّد الأوكامي على أن «المنطق هو أكثر الأدوات نفعًا في كل الفنون. ومن دونه لا يمكن لنا أن نعرف أيَّ علم من العلوم على نحوٍ كامل».

وبحلول شهر أغسطس لعام ١٣٢٥، أي بعد عام تقريبًا من وصول ويليام إلى أفينيون، كان من الواضح أن المحاكمة لم تكن تسير على ما يُرام. ففي ردٍّ له على خطابٍ من الملك إدوارد الثاني الذي طلب أن يعود لوتريل إلى إنجلترا، قال البابا إن رئيس الجامعة السابق مشغولٌ بمهمة اجتثاث «عقيدة خبيثة». وفي عام ١٣٢٧ أصدر البابا جون الثاني والعشرون مرسومًا عامًّا يتهم فيه ويليام بالتفوُّه بـ «الكثير من الآراء الخاطئة والمهرطقة».

لكنَّ محاكمة ويليام لم تكتمل قط، كما حدث في تعليمه. عوضًا عن ذلك، أصبح متورِّطًا في صراعٍ آخر أكثرَ خطورة حتى، صراعٍ حصد بالفعل الكثيرَ من الحيوات، وغيَّر وجهَ تاريخ أوروبا، وذلك طبقًا للعديد من المؤرِّخين.

هوامش

(١) آلة موسيقية تشبه العود.

(٢) كان استخدام الأسلوب الشرطي أسلوبَ «الخروج من المأزق» المعتاد لإبعاد حججه عن الحجج الخاصة بالسلطة الإلهية.

(٣) تشتمل بعض تأويلات ميكانيكا الكم على السببية الرجعية.

(٤) قارن البيروني (٩٧٣–١٠٤٨) بين مشاكلِ علماء الفلك الهنود الذين كان يتعيَّن عليهم أن يوفِّقوا بين علم الفلك والديانة الهندية، وبين موقف القرآن في هذا الشأن مؤكدًا أن «القرآن لم يتحدَّث بوضوح عن هذا المجال [علم الفلك] أو أي [مجال] آخرَ من مجالات [المعرفة] الضرورية».

(٥) رغم أن الإلحاد كان بعيدًا عن التصوُّر في عالَم العصور الوسطى — إذ لمَ يتعيَّن على أحد أن يثبت وجودَ الإله إن لم يكن هناك بذلك شك من قبل؟ — وكانت وجهة نظر على الأرجح تبنَّاها الكثير من الأفراد سرًّا، فإن أي إعلان عام عن الإلحاد كان ليؤدِّي بك إلى محرقة المهرطقين إن لم تتدارك نفسك لاحقًا.

الفصل الرابع

ما مدى بساطة الحقوق؟

> ويليام الأوكامي عملاقٌ في تاريخ الفكر. كما أنه أحدُ أبرز الشخصيات في التطوُّر المبكِّر لنظرية الحقوق الطبيعية.
>
> سيجفريد فان دوفل، ٢٠١٠[1]

لم يكن ويليام هو الراهب الفرنسيسكاني المارقَ الوحيدَ الذي يقيم في مدينة أفينيون في عشرينيات القرن الرابع عشر. فممثل الرهبنة في البلاط البابوي، بوناجراتيا من برجامو، كان مسجونًا في سِجن البابا. وكان كاهنها العام، ميكيله من تشيزينا، قد وصل حديثًا أيضًا إلى المدينة ووُضع تحت الإقامة الجبرية كما حدث مع ويليام. وفي غضون شهور، عُزل الثلاثة كنَسيًّا وأُجبروا على الفِرار. والمسألة التي جرَّت إليهما كلَّ هذا العناء الشديد هي جدال شرس بشأنِ ما إن كان المسيح يملك كيس نقود.

وكما هو الحال على ما يبدو بالنسبة إلى كل الجدالات التافهة التي وقعت في العصور الوسطى، كانت المسألة الحقيقية أعمقَ بكثير من أي شك بشأن امتلاك المسيح مالًا. إذ كانت معنيةً بالعلاقة بين الكنيسة التي يمثِّلها المسيح، والدولة التي يمثِّلها كيسُ نقوده. ويمكن أن نتتبَّع أصول الجدال إلى المسيحيِّين الأوائل. إذ أخذ الكثيرون بإصرار المسيح على «أن ولوج الجملِ سَمَّ الخِياط أسهلُ من ولوجِ غنيٍّ ملكوتِ الرب» وكذلك نصيحته «بِع كلَّ ما لك وأعطِ الفقراء» بمعناهما الحرفيَّين. فتبنَّوا أسلوبَ حياة الفقر الرسولي التي تضاهي حياة المسيح ورسله بأن هجروا المال والأملاك ليعيشوا وعَّاظًا متجولين، معتمدين فقط على الاستجداء أو الإحسان من الغير من أجل الحصول على المأوى وحدِّ الكفاف.

وقد سلكت الكنيسةُ الرومانية مسارًا غايةً في الاختلاف. فبعد أن قبِل الإمبراطور قسطنطين بالمسيحية ديانةً رسمية للإمبراطورية، أصبحت الكنيسة المسيحية مرتبطةً

بالدولة الرومانية على نحوٍ وثيق. ضعفُت هذه العلاقة بين الكنيسة والدولة بسقوط روما، وأُعيد تأسيسها عام ٨٠٠ ميلاديًّا حين توَّج البابا ليو الثالث الإمبراطور شارلمان إمبراطورًا رومانيًّا مقدَّسًا يوم عيد الميلاد في روما. ومن بعد ذلك، أتى ملوكُ وأباطرة غرب أوروبا إلى روما ليتوَّجوا على يد البابا، مما زاد من خضوع ممالك وإمبراطوريات غرب أوروبا وكذلك نظامهما الإقطاعي، لسلطة الكنيسة الكاثوليكية.

مسكين ومتدين ومهرطق

في القرن السابق لمحاكمة ويليام، انبثق العديد من الجماعات المسيحية المارقة التي هاجم أعضاؤها بذخَ الكنيسة، رافضين الارتباطَ بالدولة ومعتنقين مبدأَ الفقر الرسولي. من بين هؤلاء كان الهيوملياتيون في إيطاليا، والوالدنسيون في ألمانيا، والكاثار في منطقة لانجدوك بفرنسا.

وقد أُعلِن أن معظمَ هؤلاء مهرطقون واضطُهدوا بقسوة،[2] لكن الكنيسة الكاثوليكية احتضنت إحدى جماعات الفقر الرسولي، وإن كان ذلك على مضضٍ إلى حدٍّ ما. وُلِد جيوفاني دي بيرناندون — والمعروف باسم فرنسيس — في أسرة ثرية في بيروجا حوالي عام ١١٨١. وبعد أن تمتَّع بملهيات الشباب الثري المعتادة، تخلَّى فرنسيس عن ميراثه وممتلكاته ليعيش حياةَ واعظ مستجدٍ متجوِّل. وذهب هو وأتباعه إلى ارتداء رداء رمادي من الصوف الخشِن الذي له حبل معقود، مما أكسبهم صفةَ «الرهبان الرماديِّين». جاب فرنسيس ورهبانه الريفَ يحضُّون أيَّ أحد يستمع لهم على أن يتبنَّى حياة الزهد والتوبة والحب الأخوي. وسرعان ما نمَت له مجموعةٌ كبيرة إلى حدٍّ ما من الأتباع الأوفياء، ما دفع فرنسيس لأن يلتمس من البابا أن يعترف بجماعته رهبنةً مستجديةً متجولة جديدة. وقد وافق البابا وأصبح أتباع فرنسيس يمثِّلون رهبنةَ الإخوة الأصاغر، والشهيرة باسم الفرنسيسكانيين. وبحلول وقت ميلاد ويليام الأوكامي، كانت الرهبنة قد تحوَّلت من مجموعة صغيرة عددها بين ١١ تابعًا وحوالي ٢٠ ألف تابع.

لكن في رأي بعض المسيحيِّين لم يكن الفرنسيسكانيون جذريِّين بما يكفي. فالمتصوِّف الإيطالي جيرارد سيجاريلي الذي أسَّس جماعةً أخرى من هذه الجماعات كان قد مُنع من دخول تلك الرهبنة في عام ١٢٦٠، فحمل كلَّ أمواله وممتلكاته ردًّا على ذلك إلى الميدان الرئيسي في بارما ليوزِّع كلَّ أمواله وقبعاته وكراسيه وزجاجات نبيذه على الفقراء. وأطلق لحيته وارتدى رداءً أبيضَ وأصبح الراهب الأبيض الذي يسير حافي القدمين من مدينة إلى

أخرى. وسرعان ما أصبح يقود مجموعةَ تابعين كبيرة من المسيحيِّين الذين يشاطرونه الفكرَ والذين عُرفوا باسم الرسوليين وحثُّوا كلَّ مَن سمِع لهم على «توبوا من فوركم!».[١]

في عموم الأمر كان للكنيسة سلوكٌ متساهلٌ تجاه النُّساك الغريبي الأطوار. لكن بالإضافة إلى التخلي عن ثروته، هاجم جيرارد ثروةَ الكنيسة. وأصرَّ أيضًا على أن الكنيسة لا تملك امتياز الوصول إلى الفردوس، وهكذا فإن صكوك الغفران (التي تعني في الأساس إجازةً من الجحيم في مقابل التبرُّع للكنيسة)، وكذلك ضرائب الكنيسة والمعروفة باسم العشور، كانت ابتزازًا من جانب الكهنوتيِّين. وكما هو متوقَّع، أعلن البابا أن هذه الآراء بدعٌ وهرطقات وفي عام ١٣٠٠، أي قبل وصول ويليام إلى أفينيون بأربعة وعشرين عامًا، أُحرِق عدة رسوليِّين، من بينهم سيجاريلي، على الوتد في بارما.

إلا أن موت سيجاريلي لم يزِد الأمرَ إلا سوءًا على الكنيسة؛ حيث تولَّى قيادةَ الجماعة تابعٌ أكثر عنفًا يُدعى فرا دولتشينو.[3] وبمساعدة شريكته مارجريت من ترينت التي كان دولتشينو قد أنقذها من أحد الأديرة، جنَّد دولتشينو مجموعةً كبيرة من التابعين في شمال إيطاليا. وكما عُرفوا فيما بعدُ باسم الدولسينيانس، كان هؤلاء حتى أكثرَ تطرفًا من الرسوليِّين. إذ لم يرفضوا سلطةَ الكنيسة فحسب، بل رفضوا أيضًا أن يقبلوا بسلطةِ الدولة وأصرُّوا على أن أشياءَ مثل الممتلكات والزواج والقوانين والرق هي كلها أوهام مبتدَعة للسيطرة على الناس الذين ينبغي أن يكونوا أحرارًا. وعلى عكس الفرنسيسكانيِّين، رحَّب هؤلاء بالرجال والنساء بينهم على حدٍّ سواء، وعاشوا في مجتمعات تعاونية كالهيبيِّين لكن بنسخة العصور الوسطى.

اليوم يبدو كلُّ هذا غيرَ ضارٍّ، لكن برفضهم قبولَ المفاهيم الراسخة للملكية والسيادة الإقطاعية والسلطة، كان الدولسينيانس ينصِّبون أنفسهم بوضوحٍ ضد الدولة الإقطاعية وكذلك الكنيسة. في عام ١٣٠٥، شن البابا كليمنت الخامس حملةً عنيفةً ضد هذه الجماعة. ووعد بصكوك الغفران إلى الجنود المحليِّين؛ الأمر الذي حضَّهم على مهاجمة المتمردِين، فدمَّروا مستوطناتهم وطاردوهم عبْر شمالي إيطاليا.

وردًّا منهم على ذلك، أصبح الدولسينيانس أكثرَ عنفًا، فأخذوا يغِيرون على القرى والأديرة ليسرقوا الطعام والأموال والملابس. وفي مارس من عام ١٣٠٦ أنشئوا معسكرًا حصينًا على قمةِ جبل يُعرف باسم جبل زبيلو أو الجبل الأصلع بإقليم بييمونتي. وقد صدُّوا أولَ هجوم عليهم بنجاح؛ لذا ركَن الأسقف إلى محاصرةِ الجبل ليحمل المجموعةَ المحاصَرة على الاستسلام بسبب الجوع. ونجحت تلك الاستراتيجية؛ حيث أُجبِر الدولسينيانس

الضِّعاف الذين يتضورون جوعًا في النهاية على الخروج من معقلِهم الجبلي، مما جعلهم أهدافًا سهلةً للمهاجمين الذين يبتغون الفوزَ بصكوك الغفران. وفي غضون ذلك، أسرَ الجنودُ فرا دولتشينو ومارجريت من ترينت.

كانت محاكمتهما في مدينةِ فيرتشيلي بإقليم بييمونتي سريعة. وقد سُحر العديدُ من النبلاء والسادة بما تتمتَّع به مارجريت من جمالٍ حتى إنهم عرضوا عليها الزواجَ منها إن تراجعت عن معتقداتها. رفضت هي ذلك فحُكِم عليها بأن تُحرق على الوتد، وأُجبر فرا دولتشينو على مشاهدتها وهي تُحرق قبل أن يُعذَّب ثم يُحرق على الوتد هو نفسه.

كيس النقود المقدَّس

رغم أن رهبنةَ الفرنسيسكان كانت قد أُسِّست على مبدأ الفقر الرسولي، فإنه وبحلول الوقت الذي استُعرِض فيه جثتا فرا دولتشينو ومارجريت من ترينت في شوارع فيرتشيلي كان معظمهم قد هجرَ أسلوبَ حياة التجوُّل وكانوا يعيشون في أديرة كبيرة جيدة التجهيز بها مطابخُ ومكتبات ومهاجع ومزارع وأحواض سمك. رأى كثيرون على نحوٍ مفهوم أن هذا هجرٌ للمبادئ التي تأسَّست عليها الرهبنة. وتم تقديم حلٍّ لذلك في عام ١٢٧٩ على يد البابا نيكولاس الثالث الذي أصدر مرسومًا بابويًّا يُعرف باسم «خرْج الزارع» الذي قبِل فيه بملكية الأديرة الفرنسيسكانية وكلِّ ما تقدِّمه بالنيابة عن البابوية.[4]

كان معظم الرهبان الفرنسيسكان سعداءَ بقبول كرم البابا نيكولاس. لكن أصرَّ فصيلٌ عنيف أكثر يُعرف باسم الفراتيشيلي — الذي تسلَّل إليه الدولسينيانس الهاربون — على أن المرسوم البابوي مجردُ هُراء، وأن أسلوب حياة الرهبنة يمثِّل خيانةً لمبدأ الفقر الرسولي. تُعرف هذه المجموعة اليوم باعتبارهم المتطرفين الموجودين على هامش رواية الجريمة التي تدور أحداثها في العصور الوسطى والتي عنوانها «اسم الوردة» لأومبيرتو إيكو. ويلعب الجدال بشأن الفقر الرسولي دورًا محوريًّا في حبكة الرواية، وشخصيتها الرئيسية — ويليام من باسكرفيل (الذي لعِب دورها في الفيلم الممثل شين كونري) — كانت مبنية على شخصية ويليام الأوكامي.[5] وقد عُزل أعضاء جماعة الفراتيشيلي كنسيًّا على غِرار رهبان الدولسينيانس، مما أجبر الكثيرين منهم على الهرب إلى صقلية، التي كانت تحت حكم الإمبراطور الروماني المقدَّس فريدريك الثالث في تلك الآونة. كانت تلك هي شبكةَ الولاءات المعقَّدة في أوروبا أثناء العصور الوسطى المتأخِّرة حتى إن فريدريك كان يرسل المسيحيِّين المتهمِين بالهرطقة إلى تونس؛ حيث تمتَّعوا بحماية حكامها المسلمين.

لكن لم يتم التخلُّص من جماعة الفراتيشيلي كليًّا. ففي عام ١٣٢١، وحين كان ويليام يلقي محاضراتٍ في أكسفورد، أُلقي القبض على مجموعة كبيرة منها في ناربون وبيزييه جنوبي فرنسا بتهمةِ الوعظ بشأن تعارُض الثروة مع القداسة. بحلول ذلك الوقت كان خليفة البابا كليمنت — وهو جون الثاني والعشرون — قد أصبح بابا بالفعل، وكان أقلَّ تعاطفًا بكثير تجاه الرهبان الفرنسيسكان. فأمر ميكيله من تشيزينا الكاهنَ العامَّ المنتخَبَ حديثًا لرهبنة الفرنسيسكان أن يستجوب اثنين وستين شخصًا من رهبان الفراتيشيلي، فيسأل كلًّا منهم عن رأيه فيما إن كان المسيح يملِك كيسَ نقود أم لا.

حين أُجبِروا على الإجابة عن سؤال البابا جون الثاني والعشرين الملغوم، تراجع معظم هؤلاء الرهبان الفرنسيسكان المتمردين وسلَّموا بأن المسيح كان يملِك كيسَ نقود. وقد أُرسِلوا إلى مسقطِ رأسهم ليتبرءُوا على الملأ من آرائهم. وسُلِّم الخمسة والعشرون الذين لم يسلِّموا بذلك إلى المحقِّق الذي أقنع واحدًا وعشرين آخرين منهم بالارتداد عن آرائهم — ولكننا لا نعرف كيف حدث ذلك. أما رهبان الفراتيشيلي الأربعة المتبقون فأُحرقوا على الوتد، وعلى الأرجح أن ميكيله من تشيزينا شاهدهم أثناء ذلك.

لكن لم تكن هذه هي نهاية الأمور. ففي الثاني عشر من نوفمبر لعام ١٣٢٣، صعَّب البابا جون الثاني والعشرون على رهبان الفرنسيسكان أكثرَ بأن أصدرَ مرسومًا بابويًّا أعلن فيه أن العقيدةَ القائلة بأن المسيح ورسله لم يملكوا شيئًا هي عقيدة «خاطئة ومبتدَعة». كما ألغى أيضًا مرسومَ البابا نيكولاس الثالث السابق الذكر الذي قبِل فيه بملكية الرهبنة للأديرة بالنيابة عن البابوية. وأصرَّ جون على أنه ينبغي للفرنسيسكان منذ الآن وصاعدًا أن يقبَلوا بالملكية البابوية للأديرة وإلا فسيُعتبرون لصوصًا ومتعدِّين.

الهروب من أفينيون

عارضت بشدة أخطاء هذا البابا المزعوم …

ويليام الأوكامي، ١٣٢٩[6]

في أواخر عام ١٣١٤، أي تقريبًا بحلول الوقت الذي وصل فيه ويليام إلى أفينيون، اجتمعت رهبنتُه المذعورة في مدينة بيروجا التي لم تكن تبعُد كثيرًا عن مدينة أسيزي الخاصة بالقديس فرنسيس في اجتماعٍ سري طارئ من أجل التفكيرِ في ردِّهم على هجوم

البابا عليهم. وانتهى الاجتماع إلى كتابة خطاب يؤكِّد مبدأ الفقر الرسولي. وكُلِّف محامي الرهبنة وهو بوناجراتيا من برجامو، بأخذِ الخطاب إلى مدينة أفينيون. وبعد أن وصل إلى المدينة البابوية وأوصل الخطاب انتقد البابا جون الثاني والعشرين علنًا. لا شكَّ أن ويليام الأوكامي شهد هذا الحدث. وقد ردَّ البابا بأنْ مارسَ سلطتَه وزجَّ بالمحامي في سِجن القصر. ثم استدعى ميكيله من تشيزينا إلى أفينيون.

استجدى الفرنسيسكان الإمبراطورَ الروماني المقدَّس،[٢] لويس[٣] البافاري، الذي كان على خلافٍ بالفعل مع البابا وسرَت إشاعاتٌ أنه على وشْك تتويج بابا خاصٍّ به في روما، بل ربما يكون هذا البابا هو ميكيله من تشيزينا. وبعد أن دفع ميكيله بأنه مريض، أتى في نهاية المطاف إلى أفينيون في ديسمبر من عام ١٣٢٧، حيث لامه البابا جون الثاني والعشرون علنًا، ووضعه قيدَ الإقامة الجبرية، في الدير نفسه على الأرجح الذي كان ويليام محتجَزًا فيه. تسبَّب هذا المزيج الغريب من الظروف، الذي تسبَّب فيه البابا جون الثاني والعشرون على نحوٍ غير مقصود، في وضْعِ أذكى رجلٍ في العالم المسيحي تحت عين الرجل الذي كان في أمسِّ الحاجة إلى خدماته.

لقد أقنعته نقاشاته مع ويليام بأن البابا لم يكن مخطئًا فحسب، وإنما أيضًا كان مهرطقًا. وبمساعدة أصدقاء لهم ذوي سلطة، دبَّر الرهبان الفرنسيسكان الثلاثة الخطةَ التي أوصلتهم إلى ميناء إيج-مورت؛ حيث هربوا من هناك في نهاية المطاف إلى حيث تركناهم في وقتٍ مبكِّر من هذا الكتاب. وبهروبهم، جعلوا موقفَهم أكثرَ خطورة عليهم. ولا شك أن «ذعرهم الشديد» حين كانوا على متن قادس جينتل قد نجم عن تذكُّر ميكيله من تشيزينا صراخَ زملائه الفرنسيسكان وهم يُحرَقون في ناربون وبيزييه.

بيزا، روما، ميونخ – الجولة الأوكامية

كان البابا جون الثاني والعشرون شهيرًا بأنه عنيد ولا يعترف بالهزيمة بسهولة. فعزل كنسيًّا كلَّ الهاربين وأرسل خطاباتٍ إلى ملكِ أرجون، وأسقف طليطلة، وملك مايوركا يطلب فيها منهم أن يُلقَى القبض على الرهبان الفرنسيسكانيِّين على الفور إن نزلوا بأراضيهم.[7] ولربما زُرِع تركيزه على الجهات الغربية في عقل لورد أرابلي بفعل جينتل الماكر أثناء المفاوضات في إيج-مورت. وإذا كان الأمر على هذا النحو، فهي حيلة ذكية لأن الرهبان الفرنسيسكان نزلوا في ميناء بيزا في إيطاليا بعد رحلةٍ شاقة قطعوا خلالها نحو ٢٥٠ ميلًا بحريًّا شرقًا، واستمرت تقريبًا خمسة أيام.

تقع تلك المدينة في العصر الحديث تجاه الداخل من البحر باثني عشر ميلًا، لكن في زمن الأوكامي كانت ساحلية وتمثِّل ميناءً رئيسيًّا لتجارة شمال البحر المتوسط البحرية. ومن بيزا، ارتحلت المجموعةُ إلى روما حيث كان لويس البافاري قد نصَّب نفسه بالفعل الإمبراطور الروماني المقدَّس، كما عيَّن راهبًا فرنسيسكانيًّا مغمورًا يُدعى بيترو راينالوتشي في منصب البابا، وجعل اسمه نيكولاس الخامس. وكان ردُّ غريمه في أفينيون وهو جون الثاني والعشرون، بأن أعلن حملةً عسكرية ضد لويس، مصرِّحًا بأن تنصيبه باطل وملغًى وحثَّ كلَّ الكاثوليكيِّين المؤمنين بحقٍّ أن يقاوموه.

وبحلول سبتمبر لعام ١٣٢٨ أصبح الرومان المتقلِّبون سئمين تمامًا من «الألمان» وسخِر الجميع من لويس؛ حيث ارتحلت حاشيته من روما وعادت إلى بيزا، وفي صحبتِهم كلٌّ من الرهبان الفرنسيسكان المتمردين والبابا نيكولاس الخامس. وفي أبريل من العام التالي رحل الإمبراطور الروماني المقدَّس نحو مقعده في ميونخ، وقد أخذ معه الرهبان الفرنسيسكان لكنه لم يأخذ البابا نيكولاس. فسار البابا المهجورُ طوالَ الطريق حتى أفينيون صاغرًا من أجل أن يتنازل عن لقبه ويطلب الغفران.

قضى ويليام الأوكامي وميكيله من تشيزينا بقيةَ أيامهما في حماية لويس، فعاشا معظمَ الوقت في ديرٍ فرنسيسكاني في ميونخ. واستمر الأوكامي وزميلاه في كتابة مقالاتٍ يشجبون فيها البابا جون وخلفاءه من الباباوات. وباعتباره هاربًا ومعزولًا من الكنيسة ومتهمًّا بالهرطقة، تحوَّلت كتابات ويليام في تلك الحِقبة من الفلسفة والعلم إلى الصراع الذي أجبره على الهروب من أفينيون والبقاء منفيًّا لبقية حياته.

الحقوق البسيطة

بالرغم من أن حقوق الإنسان ليست بالموضوع الذي يُطرح للنقاش في الكتب التي تتحدَّث عن العلم في غالب الأحيان، فإنها في اعتقادي ضروريةٌ لتحقيق التقدُّم العلمي شأنُها شأنُ الطرقِ التجريبية أو الرياضيات. من الواضح أن العلم كان ممكنًا في اقتصادات العبيد أو الديكتاتوريات — كما في اليونان القديمة، أو في المجتمعات الإقطاعية في أواخر العصور الوسطى بأوروبا والشرق الأوسط — لكنه اعتمد على الثروة أو الرعاية ومِن ثَمَّ كان مقصورًا على قلةٍ محظية وعُرضة لأهواء الرعاة الأثرياء ومتطلبات الدولة أو الكنيسة. ولكي يكون العلم تحوليًّا، هو في حاجة لقاعدةٍ أوسعَ ونوعٍ من أنواع الديمقراطية العلمية التي تلعب فيها السلطة والثروة دورًا ضئيلًا أو منعدمًا في المنافسة بين الأفكار. ولا يمكن

أن يحدُث هذا إلا في المجتمعات التي تقدِّم لكل الأفراد الحقوقَ الجوهرية نفسها، بما في ذلك بالطبع الحقُّ في أن تكون مخطئًا.

هذا يجعلنا نتساءل عن طبيعة الحقوق. ما هي هذه الحقوق؟ اتفق ويليام الأوكامي والبابا جون الثاني والعشرين على أن المِلكيَّة لها وجود لأنها تقدِّم حقًّا — وهي كلمة مقابلها في اللغة اللاتينية ius أو jus والتي حصلنا منها في اللغة الإنجليزية الحديثة على مقابل كلمة العدالة — في استخدام الموارد كالطعام أو المسكن. لكن أين وكيف يوجد هذا الحق؟ قبل جيل أو نحو ذلك، دعم عالِم اللاهوت والفيلسوف الأوغسطينوسي جايلز من روما (١٢٤٧–١٣١٦) رؤيةَ الكنيسة بناءً على الرواية المذكورة في سِفر التكوين عن إخراج الرب آدمَ وحواءَ من جنةِ عدن، التي منح بعدها آدم «التسلُّط على سمك البحر وعلى طير السماء وعلى البهائم وعلى كل الأرض وعلى كل حيوان يدِب على الأرض». بعدها مرَّر آدم تلك السلطة — التي كانت عمليًّا على العالم بأكمله — إلى أفرادِ نسله المؤثِّرين الذين أصبحوا ملوكًا وأباطرة وأمراء يملِكون العالَم بأكمله ويحكمونه. واستمر واقع الحال على هذا النحو حتى ولادة المسيح الذي استعاد الملكيَّة والسلطة باعتباره إلهًا وبشريًّا. لكنه قبْل موته أورثَ كلَّ الحقوق والملكيَّات القديسَ بطرس، الذي مرَّرها إلى خلفِه من الباباوات. ثم قسَّم الباباوات اللاحقون السلطةَ التي أُعطوها من الربِّ على العواهل المسيحيِّين الذين مرَّروها إلى نبلائهم الذين شاركوها بدورِهم مع رعيَّتهم، ولكن ليس مع أقنانهم الذين لم يملِكوا شيئًا، ولم يكن لهم أيُّ حق. لذا، كان نظام العالم في العصورِ الوسطى — والذي هو بعيدٌ كل البعد عن كونه فارغًا — يجري في إطار كيس النقود الافتراضي الخاص بالمسيح.[8] في عام ١٤٩٣، أي بعد الصراع بين ويليام والبابا جون الثاني والعشرين بأقلَّ من مائتي عام، قسَّم البابا ألكسندر السادس ملكيَّة العالم الجديد بين التاجين البرتغالي والإسباني، بناءً على مفهوم السلطة المعيَّنة إلهيًّا.

لكن كان للفرنسيسكان وجهةُ نظر مختلِفة تمامًا. إذ أصرُّوا على أن المسيح تخلَّى عن ملكيَّة كل شيء، حين بدأ خِدمتَه، وذلك ليعيش حياةَ فقر تام. لذا، إن كان يملك كيسَ نقود، فلا بد أنه كان فارغًا حين أعطاه القديس بطرس. وطبقًا لما يدفعون به، فإن الكنيسةَ لم تكن تملِك حتى حقَّ مطالبةٍ شرعي بملكيَّة الكنائس أو الأراضي الخاصة بها أو أي شيء من الثروات الأخرى التي توجَد في العالم بالتأكيد. لكن، إن كان حقُّ المطالبة لدى الكنيسة بالسلطة على كل شيء هو خداعًا واحتيالًا، إذن فإن نفس الحق لدى الأباطرة

والأمراء الذين عيَّنهم الباباوات هو خداعٌ واحتيال أيضًا. كانت مخاطرُ هذا الصراع كبيرة حقًّا.

يبدأ البابا جون الثاني والعشرون هجومَه على الفرنسيسكان بتكرارِ ما أتى به جايلز والإصرار على أن «السلطة على الأشياء الدنيوية لم تكن تتأسَّس بقانون طبيعي بدائي، يُعرف بالقانون الشائع بين الحيوانات ... ولا بقانون الأمم، ولا بقانون الملوك والأباطرة، لكن بالرب الذي كان ولا يزال سيدَ كل الأشياء».[9] وفي هذا كان جون الثاني والعشرون يتَّبع الموقفَ الفلسفي الواقعي التقليدي، الذي كان ينظر إلى القانون الطبيعي باعتباره وجهًا من أوجهِ المنطق الإلهي الذي يرى أن خطةَ الرب سبب نهائي للعالم. كان يُرى أن أي حق — مثله مثل كلية الأبوَّة — هو شيء يوجد مستقلًّا عن الأشخاص الذين يطالبون به. وبهذا المعنى، فإن الحق هنا هو ما يُطلق عليه اليوم الحق الموضوعي.

في عمله «عمل تسعين يومًا» كرَّر ويليام الأوكامي نظريةَ الفرنسيسكان عن فقر المسيح التام. لكن لو كان كيس نقود المسيح خاويًا بالفعل، فمن أين تأتي الملكيَّة أو السلطة؟ تبدأ حجَّة الأوكامي — كحجَّة جون — باللاهوت. إذ دفع بأن الرب حين أخرج آدم وحوَّاء من جنة عدن أمدَّهما وذريتهما بحقٍّ طبيعي في الاستفادة من الموارد المتاحة على الأرض تمامًا كما أمدَّ الخِراف بحقِّ الرعي على العُشب. مع ذلك، لم يقدِّم هذا الحق البسيط مرةً أخرى الحقَّ في الملكية. كانت الحياة بسيطة. لم يكن أحد يملِك شيئًا بل كان الجميع بدلًا من ذلك في «حالة طبيعية»،[10] بحقوق أساسية تتعلَّق بحياتهم وقُوتهم ومأواهم.

لكن، وبعد التمتُّع بحالة الوجود الطبيعية المثالية خارج الجنة، وجد الصالحون من سلالة آدم وحواء أنَّ عليهم أن يتعاملوا مع أفرادٍ جشعين يستهلكون أكثرَ من حصتهم العادلة. ولكي يتعاطوا مع مثل هذا، أُجبروا على التوافق على ما كان يُعَد حصةً عادلة من الموارد العامة المشتركة. ومن هنا أتى مفهوم الملكيَّة الخاصة، ما نطلق عليه اليوم الملكيَّة. والأمر الأكثر أهمية، أن هذه الملكية أو السلطة لم تأتِ من الرب. بل كانت مفهومًا بشريًّا بالكامل مصمَّمًا لتجنُّب القلاقل والشقاق. في رأي الأوكامي، الملكية حقٌّ شخصي، اتفاق من نوعٍ ما تواجد فقط في عقول الناس الذين اختاروا أن يقبلوا به. وليس لها واقعٌ موضوعي أكثر من فكرة الأبوة. بل كانت مجرَّد كلمة أو فكرة.

وقد تقوِّض أسلوبَ الحياة الجمعي بفعل الأشخاص الجشعين الذين سرقوا من جيرانهم. ولكي يحموا أنفسهم من هذه السرقة الشخصية (بما أن الملكية شخصية فكذلك

هي السرقة)، اتُّفِق على مجموعةٍ من القوانين التي شرَّعت كيف يمكن حماية الملكية الخاصة، مع ذكر العقوبات المناسبة لأولئك الذين يخرقون القوانين. ولكي يتم إنفاذ تلك القوانين، اتفقت المجتمعات على انتخاب حاكم مناسب، لربما هو الأقوى أو الأكثر حكمة بينهم، ليحمي ملكياتهم بقوة السلاح لو لزِم الأمر. وفي المقابل، يتلقى منفِّذ القانون حصةً أكبر من الموارد العامة المشتركة.

أشار الأوكامي إلى أن هذا كان أصلَ السلطة الدنيوية أو المَلَكيَّة. وفي الأساس، كان الناس يعيرون حصةً إضافية من حقوقهم الطبيعية على الأرض أو العقارات لحكامِهم المختارين. وفي العصور اللاحقة، أقنع الحكامُ رعيَّتهم بأن هذه السلطة كانت حقًّا موضوعيًّا حقيقيًّا أعطاهم إياه الرب، وهو الحق الذي كان يقوم عليه نظام العالم في العصور الوسطى. إلا أن ويليام أصرَّ على أن الحقوق التي مُنِحت للحكام من قِبَل رعيتهم ما هي إلا دَين. ورأى أن مفاهيم مثل المَلكيَّة أو النبالة ما هي إلا كلمات. وإن أساء الحاكم فيمكن لرعيَّته أن يستعيدوا حقوقهم وينتزعوا منه حقهم. دفع ويليام بأن الحكام استقَوا سلطتهم من المحكومين وليس العكس؛ «من الرب عبر خلقه». وأصرَّ ويليام أيضًا على أنه «ينبغي ألا تُوكل السلطة إلى أي أحد من دون اتفاق من الجميع». كما أشار ويليام إلى أن الوثنيِّين والكفار من سلالة آدم وحواء مثل المسيحيِّين. ومِن ثَم فإنهم يرِثون الحقوق الطبيعية نفسها مثلهم مثل المسيحيِّين، وهم مثلهم لهم الحق في وضع قوانينهم وانتخاب حكامهم الشرعيِّين.[11]

وبالعودة إلى معضلة الفرنسيسكان، أكَّد ويليام أن الناس لا يزالون يملِكون حقَّهم الإلهي في استخدام الموارد متى ما كانوا في حاجة لذلك، وذلك بالرغم من التخلِّي عن مفهوم المِلكية الذي صنعه الإنسان. وشدَّد على أن هذه الحقوق الطبيعية لا يمكن أن يلغيها بابا أو إمبراطور، ولو طوعًا؛ إذ «لا يمكن لأحد أن يلغي ... الحقوق والحريات التي منحها الرب ومنحتها الطبيعة للمؤمنين»، و«لا يمكن لأحد أن ينكر حقَّ الاستفادة الطبيعي».[12] ورغم أن الكثير من المحامين والفلاسفة أسهموا في مفهوم الحقوق الشخصية، فإن المؤرِّخ الفرنسي للقانون في القرن العشرين ميشيل فيلي لم يكن لديه أدنى شك عمَّن كان مسئولًا عنه. إذ كتب أن «لحظة كوبرنيكوس» في تاريخ القانون كانت مرتبطة بـ «الفلسفة الكاملة التي أعلن عنها الأوكامي ... التي هي أساس الحقوق الشخصية».[13]

نُسِخ كتاب ويليام «عمل تسعين يومًا» على نطاقٍ واسع، وبعد مائتي عام، أثَّر في الكثير من شخصيات حركة الإصلاح الأساسية. كان الملك الإنجليزي هنري الثامن

يملك نسخته الخاصة من الكتاب في مكتبة قصر وستمنستر وكان يرجع إليها، بل يكتب تعليقاتٍ على صفحاتها ليساعد في تقوية حجَّته من أجل تطليق كاثرين من أرجون. وأثناء الحرب الأهلية الإنجليزية شقَّت النسخة طريقها نحو منزل لانهايدروك في كورنوول حيث تمكث إلى يومنا هذا وتملِكها مؤسسة التراث القومي. وواصلت فكرة الأوكامي الاسمانية عن الحقوق الشخصية التأثير على شخصيات رئيسية في حِقبة التنوير السياسي مثل هوجو جروشيوس الإنساني والشاعر والكاتب المسرحي والمحامي الهولندي،[14] وعبْرهم على توماس هوبز وجورج بيركلي، ومعتنقي الفلسفة المادية في القرن التاسع عشر الذين شدَّدوا كما فعل الأوكامي على أن الحق في الملكية أو في الحكم هو من ابتكار البشر. وكما أشار كارل ماركس: «كانت الاسمانية أحدَ العناصر الرئيسية في النظرية المادية الإنجليزية، وهي تُعَد في عموم الأمر أول تعبير عنها».[15]

هوامش

(١) دلت تلك العبارة التي أخذ يكرِّرها الأحدَب سلفاتور في رواية «اسم الوردة» التي كتبها أومبيرتو إيكو، على أنه عضو سابق من أعضاء جماعة الدولسينيانس.

(٢) خليفة شارلمان الذي توِّج إمبراطورًا في عام ٨١٤ على يد البابا. في أواخر العصور الوسطى، كان حامل هذا اللقب عاهلًا يُنتخب من جانب لجنةٍ من الأمراء الناخبين. وكانت الإمبراطورية تحكم في الغالب الشعوبَ التي تتحدَّث الألمانية، إلا أن قوَّتها تعاظمت بمرور السنوات لتشتمل على أراضٍ أخرى كإيطاليا.

(٣) يُدعى أيضًا لودفيج.

الفصل الخامس

الشعلة

سنعود إلى أكسفورد حيث تقدِّم أفكار ويليام الشعلةَ التي تؤجِّج جذوة علم وجيزة لكنها برَّاقة في أروقة الجامعة. ويظلُّ مكان دراسته في أكسفورد مجهولًا، لكن تمثِّل كلية ميرتون — وهي أحد أقدمِ كلياتها التي تأسَّست من أجل طلبة اللاهوت قبل خمسين عامًا من تلك الآونة — مرشَّحًا محتملًا. بعد رحيل ويليام المتعجِّل عن أكسفورد، ورغم اعتباره من المهرطقين، فإن أفكاره ظلَّت تُدرَّس في ميرتون. على سبيل المثال، في عام ١٣٤٧ ترك زميلٌ من كلية ميرتون ويُدعى الأستاذ سايمون لامبورن مجموعةً من مقالات الأوكامي إلى الكلية، وكانت تشتمل على أحدِ شروحاته عن كتاب لومبارد «كتب الأحكام الأربعة».[1] ومن أبرزِ الأمور في العقود التي تلت رحيل ويليام مباشرةً عن أكسفورد أن حقَّقت مجموعة من الباحثين تُعرف باسم حَسَبة ميرتون شهرةً واسعة، ليس في علم اللاهوت، بل في تطبيقهم المبتكَر للرياضيات على العلوم الطبيعية، وهي حركةٌ كان ملهمها هو ويليام على الأرجح.

ولا يشير أحد هؤلاء الحَسَبة إلى ويليام أو إلى عملٍ من أعماله مباشرة — إذ كان متهمًّا بالهرطقة ومطرودًا من الكنيسة في ذلك الوقت — لكن ليس من الصعب تمييز تأثيره، خاصة حماسته لهرطقةٍ رياضية بعينها.

تربيع الدائرة

تتذكَّر أن أرسطو كان مهتمًّا بالتصنيف. فقسَّم كليَّاته بين عشر فئات تشتمل على الجوهر والكمِّ والكيف والزمن والمكان والانفعال والفعل، وما إلى ذلك. وزاد من تعقيد الأمور بأن حظرَ تطبيق الاستدلالات أو البراهين من أحد الفئات على أخرى. على سبيل المثال، تشتمل فئةُ الكم على الأعداد، لكنها لا تشتمل على جوهر الأشياء؛ في حين أن فئة الكيف كانت تُستخدم لوصف جوهر المواد بما في ذلك عاداتُها، مثل ما إن كانت تنزع لأن

تسقط (كالحجر) أو ترتفع (كالدخان) أو تذوب (كالثلج). ودفع أرسطو بأن هناك قواعدَ مختلفة تعمل في فئاتٍ مختلفة، ولا يمكن تطبيق الرياضيات بخاصة إلا على الأشياء التي من دون جوهر، كالدوائر أو المثلثات أو الأجسام السماوية. فكتب أن «الحساب والهندسة لا يختصان بالجوهر».[2] مِن ثَمَّ كانت الأعداد والهندسة أدواتٍ غير مناسبة للتعاطي مع، لنقل، حرارة شيء أو مسار سهم. بدلًا من ذلك، لم يكن بالإمكان تطبيقُ إلا المصطلحات أو الأوصاف الكيفية مثل دافئ أو بارد أو منحنٍ أو مستقيم.

الرياضيات أساسية بالطبع للعلوم الحديثة. قد تكون الفيزياء مستحيلةً من دونها، لكنها أيضًا أداة حيوية بالنسبة إلى الكيمياء أو علم الأحياء أو الجيولوجيا أو الأرصاد الجوية. كل تلك العلوم كانت تجتمع تحت مصطلح «العلوم الطبيعية» في عالَم العصور الوسطى، وكانت خارج نطاق الرياضيات لأنها كانت جميعًا تختص بجوهر الأشياء. كان هذا الأمر يمثِّل عائقًا عسيرًا للتقدُّم العلمي، خاصة أن الرياضيات هي المدخل للبساطة. فكيف تقيس الضلع الثالث من مثلث قائم الزاوية؟ لست في حاجة إلى ذلك إن كنت تعرف طولَ الضلعين الآخرين ونظرية فيثاغورس. هذا هو ما تقدِّمه الرياضيات إلى العلوم: عالم أبسط، ومِن ثَمَّ أكثر قابلية للفهم والتنبؤ. وبالنسبة إلى أرسطو، كانت تلك الأداة متاحةً فقط للأشياء غير الملموسة كالضوء أو كليات المثلثات أو الأجسام السماوية.

إلا أن الفيلسوف اليوناني سمح بمقدارٍ ضئيل مما أطلق عليه «الانتقال» الذي يمكن فيه لبراهين أحد العلوم أن تنضم إلى علم ثانوي يُعدُّ تابعًا للعلم الأرفع أو الأسمى. على سبيل المثال، كانت الموسيقى التي تُلعب على الآلات الوترية تُعَد ثانوية للرياضيات، حيث يمكن التنبؤ بالانسجام من خلال النِّسب بين أطوال الأوتار والنغمات الموسيقية التي تعزِفها حين يُنقَر عليها. فإن نُقِر على أحد الأوتار ليعزِف نغمة موسيقية بعينها فإنَّ وترًا له نصف طول الوتر الأول سيعزِف نغمة موسيقية أعلى بأوكتاف واحد. ومِن ثَمَّ فإن الفاصل الموسيقي للأوكتاف له نسبة رياضية هي ٢ إلى ١؛ في حين أن أطوال أوتار نسبتها ٢ إلى ٣ تمثِّل فاصل الخامس المثالي. لكن وبغض النظر عن تلك الحالات الاستثنائية القليلة، فرض أرسطو حظرًا عامًّا على الانتقال في العلوم.

وأحد التقييدات الأرسطية الأخرى ذات الصلة كان إصراراه على أن العناصر الرياضية المختلفة غير متناسبة. على سبيل المثال، لا يمكن مقارنةُ دائرة بمربع حيث، كما زعم، من المستحيل أن نستخدم الطرقَ العددية أو الهندسية في تحديد مساحة المربع التي تساوي مساحةَ الدائرة. وأكَّد أرسطو أن محاولة «تربيع الدائرة» هذه تمثِّل خرقًا لقاعدة حظر

الانتقال. وبالمثل، فإن كل شكل هندسي كان يُعَد قائمًا على كليَّته الخاصة القائمة، ومِن ثَمَّ فهو غير قابل للمقارنة بأي شيء مثلما لا يمكن مقارنة طعم الجبن بصوت العود.

نجت الفئات وقاعدة الانتقال وعدم التناسب من سقوط العالم القديم وانتقلت إلى المدرسيِّين الغربيِّين غالبًا على يد العلماء العرب. وهكذا حين كان الفلاسفة الإسلاميون أو الأوروبيون في العصور الوسطى يفكِّرون في شيء كالحركة مثلًا، فإن أول سؤال كان يتبادر إليهم هو «لأي فئات الوجود تنتمي الحركة؟». كان من المهم كثيرًا أن يجيبوا عن هذا السؤال لأن إجابته تحدِّد طبيعةَ العلم الذي سيطبِّقونه عليه. لكن لسوء الحظ، كانت فئات أرسطو كثيرةً وغامضة جدًّا حتى إن المدرسيِّين لم يتمكنوا من تخطي هذا السؤال. كتب ألبرت العظيم وهو مرشِد الأكويني نقاشًا مطوَّلًا حول مسألة الفئة التي تنتمي إليها الحركة في شرحه على الكتاب الثالث من عمل أرسطو الذي بعنوان «الطبيعة» مستشهدًا بكلٍّ من أرسطو وآراء الشارحين العرب.[3] وتناقش حول ما إن كانت الحركة تنتمي إلى فئة الفعل أو الانفعال أو الكم أو الكيف أو المكان أو ما إن كانت تمثِّل بنفسها فئةً جديدة تمامًا خاصة بها. وكما هو متوقَّع، لم يتمكَّن قط لا هو ولا أيٌّ من المدرسيِّين أن يتوصَّل إلى نتيجة.

إن نبْذَ الأوكامي ثمانيةً من فئات أرسطو العشر باعتبارها كياناتٍ تتجاوز الحاجةَ قدَّم فائدةً مباشرة تتمثَّل في إقصاء معظم حالات حظر الانتقال. وبالنسبة إلى الرياضيات، فقد استخدم ويليام شفرته الاسمانية ليهاجمَ فكرةَ أن الرياضيات مبنيةٌ على المُثل الأفلاطونية أو كليات المثلثات والدوائر والأعداد القائمة في عالَم مثالي. فكتب يقول: «إذا كانت العلاقات [الرياضية] حقيقيةً فإنني حين أحرِّك إصبعي ويتغير موضعه بالنسبة إلى كل أجزاء الكون» [إذن] السماء والأرض سيعجَّان على الفور بالعوارض».[4]

وحاجج بأنه ينبغي ألا يكون هناك تقييد لمدى تطبيق الأعداد أو الأشكال أو الأشياء الهندسية؛ حيث إنها ما هي إلا أدوات ذهنية. على سبيل المثال، في مقدِّمة شروحاته النهائية للكتاب الأول من عمل لومبارد «كتب الأحكام الأربعة» التي أتمَّها قبل رحيله إلى أفينيون مباشرة في عام ١٣٢٤، يناقش الأوكامي العلاقةَ بين العلوم والرياضيات ويدفع بأن الكثيرَ من تلك العلوم تُعَد عند أرسطو خارج حدود الرياضيات، مثل الطب، إلا أنه يجد استخداماتٍ مفيدة للمفاهيم الرياضية. على سبيل المثال، قد يقدِّم الطبيب تخمينًا مختلفًا لجُرحٍ ما اعتمادًا على ما إن كان قطْعًا مستقيمًا من ضربة سيف (تخمين جيد) أو ثقبًا مستديرًا من ضربة رمح (تخمين رديء).

وبالمثل، أطاح الأوكامي بالحظر الأرسطي المفروض على مقارنة كميات من المفترَض أنها غير متناسبة مثل الخطوط المستقيمة والدائرية. وأشار ببساطة إلى أن الحبلَ حين يلتف في دائرة يمكن حلُّه لتحديدِ ما إن كان طوله أطولَ أم أقصر أم مساوٍ لحبل مستقيم.[5] وبغض النظر عن قرون من المجادلات الفلسفية، حقَّق ويليام تقدُّمًا نحو المنظور الحديث للعلم الاسماني المبني على التجربة.

حَسَبة أكسفورد

كان توماس برادواردين، وهو من معاصري ويليام، هو أولَ مَن سمح لقلمه بأن يستفيد مما قام به الأوكامي من تخفيفٍ للحظر الأرسطي في دراسة الحركة. فطبقًا لرأي أرسطو، كانت الحركة مجردَ شكل من أشكال التغيُّر إلى جانب النمو أو الاضمحلال. وأشار أرسطو إلى أن الحركةَ تكون ممكنة فقط حين تتخطى القوةُ المؤثِّرة على جسمٍ مقاومتَه للحركة، إلا أنه لم يحاول أن يحوِّل مبدأه هذا إلى مثالٍ رياضي. وبتجاهل حظر الانتقال في عمله «أطروحة عن النِّسب» الذي كتبه حوالي عام ١٣٢٨، استقدم برادواردين مفهومَ النِّسب الرياضية في الفواصل الموسيقية ليدفع على نحوٍ صحيح بأن النسبةَ الرياضية بين القوة والمقاومة — والتي تتمثَّل في عدد — هي ما يحدِّد كميةَ الحركة.[6] وكانت تلك خطوةً ثورية حيث كانت تطبِّق المنطقَ الرياضي للمرة الأولى على أشياءَ معروفٍ عنها أنها تتركَّب من مادة.

ومضى برادواردين ليصبح دبلوماسيًّا مؤثِّرًا وأسقفًا لكانتربري، إلا أن جيلًا آخرَ من علماء كلية ميرتون في أكسفورد طوَّروا خطواته الرياضية الصغيرة، من بينهم جون دامبلتون (حوالي ١٣١٠–١٣٤٩)، وويليام هايتسبيري (حوالي ١٣١٣–١٣٧٢)، وريتشارد سواينشيد (الذي مات حوالي عام ١٣٦٤). وُجِد هؤلاء جميعًا في ميرتون في الفترة بين ١٣٣٠ و١٣٥٠؛ لذا من السهل أن نتخيَّل هذه المجموعة وهم منكبُّون معًا على المخطوطات بالقرب من ضوء الشموع في مكتبة الكلية القارسة البرودة.[١] كان هايتسبيري ودامبلتون متأثرَين كثيرًا بالمنطق الاسماني لويليام الأوكامي.[7] لكن تأثير الأوكامي الأكبر على العلوم في ذلك الوقت كان تحريره الرياضيات من قيودها الفلسفية.

كتب هايتسبيري — الذي سيُعرف لاحقًا ببساطة باسم «الحاسب» — كتابَه «قواعد حل الأحاجي المنطقية» في عام ١٣٣٥ الذي ابتكر فيه لغةً اصطلاحية شبهَ رياضية من نوعٍ ما طبَّقها على الكثير من المسائل الممنوعة تحت مظلة قيود الانتقال، كالعلاقة بين

الوزن والمقاومة في الحركة.[8] وبأسلوب مدرسي نموذجي، طرح هايتسبيري أسئلةً مثل ما إن كان «هناك حدٌّ أقصى لوزنٍ يمكن لسقراط رفعه بالسرعة أ في الوسط ب، أو حد أدنى لا يمكن له أن يرفعه».[9] وكان أهم تقدُّم حقَّقه هو وزملاؤه الحَسَبة في ميرتون هو تعريفهم للسرعة بأنها العلاقة بين المسافة والزمن. لم يحاول أرسطو قط وضعَ أي تعريف رياضي؛ حيث كان يعتبر الحركةَ مفهومًا معقَّدًا ينطوي على تغيُّر في المكان والزمن والموقع والموضع، وهي كلها فئات منفصلة للوجود، ومِن ثَمَّ غير متناسبة. لقد قام حَسَبة ميرتون مجازيًّا بحل حبل الأوكامي من أجل تعريف السرعة ببساطة من خلال قسمة المسافة التي يقطعها الشيء في حركته على الزمن الذي استغرقه في ذلك. عادة ما يُعزى الفضل في هذا التعريف إلى جاليليو،[10] لكن حَسَبة ميرتون توصَّلوا إليه قبل ذلك بثلاثة قرون.

صياغة قوانين من خلال شفرة أوكام

متسلحين بتعريفٍ رياضي للسرعة، انطلق هايتسبيري وزملاؤه ليكتشفوا أولَ قوانين العلوم الحديثة، وهو مبرهنة متوسط السرعة. تنصُّ المبرهنة على أن المسافة التي يقطعها شيءٌ يتسارع من السكون بشكل موحَّد تساوي المسافةَ التي كان الشيء ليقطعها لو كان يقطعها بمتوسط سرعته للوقت نفسه. وهكذا فإنْ تسارعَ حمارٌ في سلاسة من السكون إلى هرولةٍ تبلغ عشرة أميال في الساعة، فإنَّ المسافةَ التي كان سيقطعها الحمار ستكون هي نفسها المسافة التي كان سيقطعها لو تهادى بخطواتٍ منتظمة تبلغ سرعتُها خمسة أميال في الساعة، أي، إنه كان سيقطع خمسة أميال.

إن القوانين الرياضية والعلمية تمثِّل عاملًا حاسمًا في قصتنا؛ لأنها تحت مظهرها الجامد تُعَد أمثلَ تعبير عن شفرة أوكام. تذكُر إصرارَ أينشتاين الذي ذكرناه في المقدمة على أن «الهدف الأسمى من كل العلوم [هو] تغطية أكبر عدد من الحقائق التجريبية بالاستدلال المنطقي باستخدام أصغر عددٍ ممكن من الفرضيات أو البديهيات».[11] فالقوانين العلمية، عن الضوء أو الحركة أو الحرارة على سبيل المثال، هي كلها طرقٌ لتغطية «أكبر عدد من الحقائق التجريبية» من فرضيات أو بديهيات بسيطة. يمكن لنا أن نفهم قيمةَ تلك القوانين إن تخيَّلت كيف كان أرسطو ليستجيب إذا ما سألته كم المسافة التي يمكن أن يقطعها الحمار إن كان يتسارع في سلاسة من السكون وحتى عشرة أميال في الساعة في خلال ساعة واحدة. على الأرجح أنه كان ليخبرك أن الأمر كلَّه يتوقف على المادة التي خُلِق

منها الحمار، والأسبابِ الصورية والفاعلة والنهائية لحركته، والفئات المعينة التي تندرج تحتها تلك الأسباب. على الأرجح أن الحمار كان ليزفر أنفاسَه الأخيرة قبل أن ينتهي أرسطو من إجابته.

لكنك إذا ما سألت هايتسبيري وزملاءه فإنهم كانوا ليقولوا إن الإجابة هي نصف السرعة النهائية للحمار مقسومة على الوقت الذي استغرقه ليصل إلى تلك السرعة. فضلًا عن ذلك، إذا ما عدَّلت سؤالك لتسأل عن تسارع عنزة أو بقرة أو مذنَّب أو عالم أو سهم، وهي كلها أشياءُ تتركَّب من موادَّ مختلفة تمامًا وتنتمي إلى فئاتٍ مختلفة من الوجود، فإنهم كانوا ليخبروك أن هذا لم يكن ليشكِّل أدنى فارق. وحين يحسبون إجابتَهم فإن تفاصيل مثل المادة التي يتركَّب منها الشيء تمثِّل كياناتٍ تتخطى حاجز الضرورة.

إن مبرهنةَ متوسط السرعة مفيدةٌ بصورة بارزة. لكن بها عيبًا مهمًّا. لقد عرَّف حَسَبة ميرتون الحركةَ فحسب؛ لكن لم يحاولوا تفسيرَ الحركة بتقديم الغرض منها. وفي تعريفات هذا العصر، فإننا نصِف مبرهنةَ متوسط السرعة بأنها نظرية حركية للحركة. ليس هناك خطأ جوهري في النظرية الحركية؛ حيث لا تزال مفيدةً حتى يومنا هذا. لكن هذه النظريات لا تقول شيئًا عن المستقبل ولا عن الماضي أيضًا إلا إن كان أحدهما مشابهًا تمامًا للحاضر. ولكي يتمكَّن العلم من التنبؤ بمستقبلٍ غير مؤكَّد، فإنه أيضًا بحاجة لأن يكون قادرًا على التعاطي مع التغيير، ولأجل ذلك، فإنه بحاجة لتطوير نماذج تتضمَّن أسبابًا. والتقدُّم التالي الذي أُحرِز في دراسة الحركة كان على يد علماء أوكاميين في المدينة التي استمتع فيها ويليام على الأرجح باستراحةٍ قصيرة وهو في طريقه إلى أفينيون.

ما الذي يسبب وجود علة؟

وُلِد جان بوريدان في أسرة متواضعة في أبرشية أراس ببيكاردي بفرنسا، في وقتٍ ما حوالي عام ١٣٠٠. وقد لفت الصبي الصغير الذكي انتباهَ محسنٍ ثريٍّ دفع تكاليف تعليمه في كلية ليموين في باريس ثم في جامعة باريس. وبحلول عام ١٣٢٠ تقريبًا، حصل على رخصةٍ للتدريس وسرعان ما تقدَّم عبْر النظام الأكاديمي. وكان في غاية النجاح حتى إنه سرعان ما وصفه زملاؤه بأنه «فيلسوف عظيم»، وعُيِّن مرتين رئيسًا لجامعة باريس. ولا شك أنه كان موجودًا حين عبَر ويليام الأوكامي من خلال أروقتها.

لسوء الحظ لا نعرف عن حياة بوريدان إلا القليل جدًّا، عدا عدة إشاعات مشينة. معظمها كان يتركَّز حول سُمعته كونه زيرَ نساء. ففي إحدى القصص يُقال إنه تعدَّى

على البابا المستقبلي كليمنت السادس فضربه على رأسه بفردة حذاء حين كانا يتنافسان فيما بينهما على كسبِ ودِّ زوجة صانع أحذية ألماني. وقصة أخرى تقول إن الملك فيليب الخامس ملك فرنسا ربطَ بوريدان في جوالٍ وألقى به في نهر السين بعد أن اكتشف أن الفيلسوف كان يقيم علاقةً مع زوجته. ومن الواضح أن أحدَ تلاميذه أنقذه من الغرق.

على الأرجح أن معظم هذه القصص مشكوكٌ في أمرها، لكننا نعلم يقينًا أن بوريدان كان أحدَ أعظم العلماء في عصره. إذ كتب شروحاتٍ عن أعمال أرسطو، بما فيها «الأورجانون» و«الطبيعة» و«عن السماء» و«عن الكون والفساد» و«عن الروح» و«ما بعد الطبيعة». وكان أهم أعمال بوريدان هو «موجز عن الجدل» الذي أصبح الكتابَ المعياري الذي نشرَ منطق ويليام الأوكامي الاسماني عبْر الجامعات الأوروبية؛ حيث أصبح معروفًا بـ «المذهب الجديد». وبكلمات المؤرِّخ تي كيه سكوت: «أكمل بوريدان ما بدأه الأوكامي … وإن كان الأوكامي قد استنَّ مذهبًا جديدًا في الفلسفة، فبوريدان من الأتباع لذلك المذهب بالفعل. وإن كان الأوكامي هو المبشِّر بعقيدة جديدة، فلا شك أن بوريدان كان يعتنِقها بشجاعة …».[12] وقد عارض «المذهب الجديد» تقليدَ «المذهب القديم» المدرسي المحافظ والمليء بالكيانات الخاصِّ بفلاسفةٍ مثل الأكويني أو جون سكوتوس، فكان يطمح لفلسفةٍ أبسطَ وأقلَّ تشوُّشًا مبنيةٍ بشكل أكبر على المنهج الاسماني للأوكامي، وعلى فصله للعلم عن اللاهوت وتطبيقه الصارم لمبادئ شفرته.

كان أكثر إنجازات بوريدان العلمية تأثيرًا هو اكتشافه طريقةً ثورية لوصف علل حركات الأجسام الأرضية، مثل طيران السهم. كان أرسطو قد وصف تلك الحركات بأنها غير طبيعية، وقال إنها تتطلب علَّة سابقة مادية وصورية وفاعلة. لكن وحتى في وجود الكثير من العلل، فشلَ نظامُ أرسطو في تفسير سبب استمرار السهم في الطيران عبر الهواء لفترة طويلة بعد أن ينطلق من قوسه. وقد ردَّ أرسطو بطريقته المعتادة وهو متحيِّر، فأضاف المزيدَ من التعقيد. فاقترح أن السهم بعد أن يتلقى الدفعة الأولى من الوتر، يولِّد دوامةً من نوعٍ ما في الهواء تحيط بالسهم، والتي تستمر في دفع السهم في مساره.

كان ويليام الأوكامي قد رصد الخلل بالفعل قبل عقدٍ من الزمن أو نحو ذلك قبل كلام بوريدان.[13] إذ أشار إلى أن بإمكان سهمين ينطلقان في اتجاهين معاكسين أن يمرَّا أحدهما بجوار الآخر في الهواء. فلدى نقطة التقارب الشديد، ستحتاج دوامة الهواء الخاصة بأرسطو إلى أن تكون دافعة في اتجاهين معاكسين؛ الأمر الذي لا يبدو منطقيًّا. فاقترح جان بوريدان بدلًا من ذلك أن الوتر المتحرِّك ينقل كمًّا من «القوة الدافعة» إلى

السهم. وتظل هذه القوة الدافعة متصلة بالسهم، كوقود من نوعٍ ما يدفع السهم ضد مقاومة الهواء، حتى تُستنزف تلك القوة ويعود السهم إلى حركته الطبيعية وهي السقوط إلى الأرض.

لم يكن مفهوم القوة الدافعة جديدًا بالكلية. إذ قدَّمه في القرن السادس الميلادي الفيلسوف البيزنطي جون فيلوبنيس والمعروف بيوحنا النحوي (حوالي٤٩٠–٥٧٠) وتناوله بمزيد من التفصيل العالِم الفارسي ابن سينا المولود عام ٩٨٠. لكن ما جعل مفهوم بوريدان ثوريًّا حقًّا هو تعريفه الرياضي. إذ اقترح بوريدان أنه يمكن حساب القوة الدافعة لجسمٍ ما عن طريق ضرب وزنه في سرعته. وهذا يشبه — لكنه لا يماثل — مفهومَ الزخم[٢] الحديث.

كان قانون بوريدان هو أولَ قانون سببي للحركة يوصَف رياضيًّا؛ الأمر الذي يجعله سابقًا — سواء بشكل مباشر أو غير مباشر — على معظم القوانين العلمية التي تشكِّل العالَم الحديث. وعلى غِرار حَسَبة ميرتون، كان بوريدان يحاول «تغطية أكبر عدد من الحقائق التجريبية بالاستدلال المنطقي باستخدام أصغر عدد ممكن من الفرضيات أو البديهيات».

قبل أن أنتقل إلى نقطةٍ أخرى، أريد أن أستعرض سؤالًا واحدًا أخيرًا بخصوص طبيعة القوة الدافعة. أكان بوريدان ليفهم حركةَ السهم أكثر إذا ما اقترح أن قوس رامي السهم يرفق مَلاكًا مع السهم بدلًا من القوة الدافعة، ومِن ثَمَّ فإن حركة السهم تكون مدعومة برفرفة جناح مَلاك حتى يشعر هذا المَلاك بالإنهاك؟ يبدو هذا السؤال سخيفًا لنا، لكنه لم يكن كذلك بكل تأكيد في العصور الوسطى. فبالنسبة إلى الكثيرين من أهل ذلك العصر، كان الملاك حقيقيًّا وحاضرًا في العالَم أكثرَ بكثير من حضور القوة الدافعة.

في الوقت الراهن، سنترك هذا السؤال معلَّقًا. لكنه سؤال سنعود إليه فيما بعد؛ فهو حين يتم تعميمه، يُعَد أساسيًّا بالنسبة إلى الدور الذي لعِبته شفرة أوكام في العلم.

الأرض (ربما) تتحرَّك

في شروحاته النهائية التي نجت للكتاب الأول من عمل لومبارد «كتب الأحكام الأربعة»، أشار ويليام الأوكامي إلى أن «الأشجار ... يبدو أنها تتحرَّك» بالنسبة إلى راصدٍ يقف على متن سفينة تتحرَّك على طول شاطئ تحفُّه الأشجار. وأكمل ليدفع بأن هذين الافتراضين مرادفان لذلك: «الأشجار ... تُرى على التوالي في مسافاتٍ ومظاهرَ مختلفة من خلال عينٍ

تتحرَّك مع حركة السفينة» و«تبدو للعين أن الأشجار تتحرَّك».[14] كان ويليام هنا يشير إلى التكافؤ النسبي للحركة والسكون: فالأمر يعتمد على منظورك. واستخدم ويليام هذه الملاحظةَ ليدفع بأن الحركة، مثلها مثل الكليَّات، لا تُعَد شيئًا موجودًا، بل إنها علاقة بين الأشياء. وقد أدرك بوريدان أن نسبية المنظور هذه يمكن أن تحمل أيضًا تداعياتٍ في السماء.

في نظرية الحركة عند بوريدان، يضيف القوس في يد رامي السهم كمًّا من القوة الدافعة يتسبَّب في أن يطير السهم عبْر الهواء. لكن السهم يسقط في النهاية. وأرجع بوريدان ذلك إلى أن القوس تضع كمًّا محدودًا من القوة الدافعة يعمل ضد مقاومة الهواء حتى يُستنفد. لكنه أردف يخمِّن أن «القوة الدافعة ستستمر إلى الأبد ما لم تَضعُف وتنحرف بفعل مقاومة مضادة أو نزعة إلى حركة معاكسة».[15] وهذا الأمر يقارب كثيرًا في الواقع مفهومَ القصور الذاتي الحديث، الذي يُعزى الفضل فيه غالبًا إلى جاليليو. علاوة على ذلك، اقترح بوريدان أن «في حركة الأجسام في السماء لا يكون هناك مقاومة مضادة»؛[16] لذا فإن الرب بعد أن أعطى تلك الأجسامَ في السماء دفعتها الأولى من القوة الدافعة، أصبح بمقدورها أن تظل تتحرَّك إلى الأبد. كان هذا الرأي يمثِّل بالفعل خطوةً كبيرة نحو تصوُّر ميكانيكي لسماء تعمل وفقًا لقوانينَ أرضية (كما اقترح ويليام). إلا أن بوريدان فكَّر في فكرة ثوريَّة أكثر، بل إنها يمكن أن تمثِّل هرطقة، وذلك عن طريق استحضار مفهوم ويليام الأوكامي عن تكافؤ الحركة والسكون القائم على الرصد ليدفع بأن الأرض هي التي تتحرَّك وليست النجوم.

ومثله مثل الجميع، كان بوريدان قد أشار إلى أن النجوم تبدو أنها تدور حول الأرض كلَّ يوم لكنه أدرك أيضًا أن هذا الأمر قد يكون مسألةَ وجهة نظر. فإذا كانت الأرض تدور، فإن المدارات اليومية لتلك النجوم ستختفي. فكتب يقول:

> تمامًا كما هو من الأفضل أن نقدِّم تعليلًا لمظهر الأشياء من خلال عللٍ أقلَّ أكثر مما هو أفضل أن نحفظها من خلال عللٍ أكثرَ ... فمن الأسهل الآن أكثر أن نحرِّك شيئًا صغيرًا من أن نحرك شيئًا كبيرًا. لذا أن نقول إنَّ الأرض (التي هي صغيرة للغاية) تتحرَّك بسرعة أكبرَ وإن النجوم العالية ساكنة، لهو أفضل من أن نقول العكس.[17]

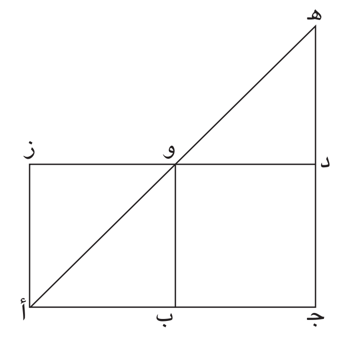
أسكن بوريدان حركةَ آلاف النجوم من خلال أنه سمح لشيء واحد فقط وهو الأرض بالدوران: شفرة أوكام. لكن ذلك العالِم الفرنسي كان ذكيًّا أيضًا بما يكفي ليرصد مشكلة.

إن كانت الأرض تدور حقًّا من جهة الغرب إلى الشرق بسرعة كبيرة، فإن سهمًا يُطلق عموديًّا في الهواء ينبغي أن يقع إلى جهة الشرق من نقطة انطلاقه. وبما أن هذا لم يحدث، فقد خلُص بوريدان إلى أن الأرض لا بد أنها ثابتة وأن السماء بالفعل تتحرَّك.

كان هذا تفكيرًا منطقيًّا، لكنه كان خاطئًا بالطبع. وقدَّم الحل الصحيح أحدُ تلامذة بوريدان وأتباع المبدأ الأوكامي و«المذهب الجديد»، والذي كان يُدعى نيكول أوريسم (حوالي ١٣٢٣–١٣٨٢). حظي أوريسم بحياةٍ مهنية أكثر شهرة حتى من أستاذه؛ إذ أصبح معلِّمًا لتشارلز الخامس ملك فرنسا المستقبلي (١٣٣٨–١٣٨٠) وعُيِّن لاحقًا أسقفَ ليزيو. وبينما كان أوريسم يدرس مع بوريدان في باريس، درس أعمال حَسَبة ميرتون وتجاهل هو أيضًا مبدأ أرسطو الخاص بحظر الانتقال، فاستخدم الهندسةَ ليقدِّم برهانًا بيانيًّا على مبرهنتهم الخاصة بمتوسط السرعة (انظر الشكل ٥-١). واتبع معلِّمه في استخدام شفرة أوكام في استبعاد الدوران اليومي للنجوم من خلال الزعم أن «من العبث القيام بشيء من خلال عملياتٍ عديدة أو واسعة النطاق، والتي يمكن القيام بها من خلال عمليات أقل أو على نطاق أضيق». لكن أوريسم وعلى عكس معلِّمه، حلَّ معضلة السهم الملغزة بأن أشار إلى أن السهم الذي يُطلق عموديًّا من فوق سطح سفينة متحركة يسقط على سطحها. وقد أرجع هذا إلى أن السهم المنطلق يتقاسم مع السفينة قوَّتها الدافعة الأفقية، ومِن ثَمَّ فإنه يستمر في التحرُّك مع السفينة حتى بعد أن يكون قد انطلق من وتره. ودفع أوريسم بأن رامي السهم الذي يقف على سطح أرض متحركة هو في نفس موقف رامي السهم الذي يقف على سطح السفينة، و«لهذا السبب يعود السهم إلى مكانه على الأرض الذي انطلق منه».

لكن ظلَّ أوريسم مثل معلِّمه غيرَ راغب في أن يقوم بقفزة كبيرة نحو كونٍ أكثرَ بساطة. وقد حاجج بأنه بما أنه لا يمكن للمنطق وحدَه أن يحدِّد ما إذا كانت الأرض هي التي تدور أم الأجرام السماوية، فقد هجر الشفرة لصالح الكتاب المقدَّس. وجد أوريسم في الكتاب المقدَّس في سِفر يشوع فقرةً أمرَ فيها الرب الشمسَ أن تقف ساكنة في السماء لتقدِّم ليشوع مزيدًا من ساعات النهار ليقاتل فيها أعداءه.

على الرغم مما قام به أوريسم من عودة للاهوت، فإن «المذهب الجديد» لدى ويليام الأوكامي كان قد قطع، بحلول أربعينيات القرن الرابع عشر، خطواتٍ كبيرة تجاه الهروب من غابة لاهوت الأكويني المتشابكة. ولو استمر هذا التقدُّم، لربما كانت الثورة الصناعية قد حدثت في القرن السادس عشر وليس القرن الثامن عشر. لكن لسوء الحظ، تسبَّب ميكروب في عودة آخر المدرسيِّين إلى الفكر الذي كانوا يتبنونه.



شكل ٥-١: برهان بوريدان البياني على مبرهنة متوسط السرعة. يمثِّل المحور الأفقي «أ ج» «الزمن»، فيما يمثِّل المحور الرأسي «ج د» «السرعة المتزايدة» بشكلٍ موحَّد بحيث تُحدِّد مساحةُ المثلث «أ د ج» المسافةَ الكلية المقطوعة. أشار بوريدان إلى أن النقطة «و» إذا كانت تقع في المنتصف بين «أ» و«د» فإن حجم المثلث «و د ز» يتساوى مع حجم المثلث «أ هـ و» ويكون المستطيل «أ هـ ز ج» له نفس مساحة المثلث «أ د ج». لكن مساحته تكون مساوية للمسافة المقطوعة إذا كان الجسم يقطع المسافةَ كلها بسرعة متوسطة.

سنين مهلِكات

في العام ١٣٤٧، كانت حشود المغول تضرب حصارًا على ميناء كافا في شبه جزيرة القرم يريدون استسلام التجار الجنويِّين المتهمين بقتل حاكم المدينة. وحين سقط الجيش الذي يحاصر الميناء ضحيةَ مرض غامض لكنه فتَّاك شكر الجنويُّون ربَّهم. إلا أن شكرهم لم يدُم طويلًا. إذ قذف المغول الجثث بالمقالع إلى داخل المدينة. فسقط سكانها ضحايا الوباء، ما دفع الجنويِّين ليبحروا عائدين إلى إيطاليا. توقَّفت سفينتهم على الأرجح عند أكثرِ مدن العالم اكتظاظًا بالسكان في ذلك الوقت، وهي القسطنطينية. وفي غضون أسابيع، مات الآلافُ من سكانها. أما المحطة التالية التي توقَّفت فيها السفينة فكانت مدينة مسينة بصقلية، وكان ذلك في أكتوبر من عام ١٣٤٧، وبحلول ذلك الوقت كان معظم طاقمها قد لقي حتفه. ولم ينجُ من الجنويِّين سوى اثني عشر رجلًا رغم ما كان بهم من مرض، فمُنِعوا من النزول من فوق متن السفينة، إلا أن المرض غادر السفينةَ على أي حال على ظهر الفئران التي كانت عليها. وفي غضون شهور، صارت موانئ أوروبا الكبرى مصابةً

كلها بالمرض. وبعد مرور بضع سنوات، كان أكثر من نصف الأوروبيِّين قد لقوا حتفَهم، من بينهم توماس برادواردين، وجان بوريدان ووِيليام الأوكامي. ورغم أن الجامعات بقيت في الغالب، فإن نقصًا بين المعلمين تسبَّب في انهيار التعليم الأساسي، ما أدَّى إلى انهيار مستويات التعلم.

استنفد الوباء الأول نفسه في غضون أربع سنوات أو خمس، لكن وعلى مدى العقود التالية، استمرت حالات تفشي الطاعون في تدمير أوروبا باطراد شرس. بحث الحكَّام والمواطنون المرتعبون عمَّن يلقون عليه باللائمة في ذلك، فاستهدفوا اليهودَ، وقُتل الآلاف منهم. اعتقد كثيرون آخرون أن شرَّ الإنسان هو السبب في العذاب الذي صبَّه عليهم الرب؛ لذا وفي محاولةٍ لإرضاء ربٍّ غاضب، أبدَوا ندمَهم على ما بدر منهم، وتجوَّلوا من مدينة إلى أخرى يتجمعون ويجلد بعضهم بعضًا بسياطٍ أطرافُها من الحديد. لكن الجَلد أو التوبة أو محاولات التكفير أو الصلاة لم تفلح في استرضاء الرب الجبَّار. لم يسلَم أحدٌ من الوباء. فهوت أوروبا في العصور الوسطى من الشاعرية الرعوية الريفية التي صُوِّرت في كتاب «الساعات الغنية جدًّا لدوق بيري» إلى الرؤى الجهنمية للرسام هيرونيموس بوس. وبوجود الموت عند كل زاوية تقريبًا، هجر المدرسيون التفكيرَ العلمي ولجئوا إلى صلواتهم وتضرُّعاتهم. ولم يبدِ أحدٌ اهتمامًا حقيقيًّا بالعلم في أوروبا أثناء العصور الوسطى إلا بعد مرورِ أكثرَ من مائة وخمسين عامًا.

هوامش

(١) لم يكن مسموح بنار التدفئة في المكتبات بسبب طبيعة الكتب القابلة للاحتراق.

(٢) الزخم يساوي السرعة المتجهة (وهي كمية متجهة تنطوي على الاتجاه) مضروبة في الكتلة.

الفصل السادس

فترة الكساد الفكري

نحن الآن في عام ١٥٠٤ في مدينة فلورنسا حيث كان الفنان التوسكاني ليوناردو دي سير بيرو دا فينتشي — والمعروف اليوم باسم ليوناردو دا فينتشي (١٤٥٢–١٥١٩) — يحزِم كتبَه. مرَّ الآن ١٥٧ عامًا منذ أن اكتسح الطاعون العظيم أرجاء أوروبا متسبِّبًا في قتل الكثير من سكانها. كان «الموت الأسود» بالغَ الشدة بوجه خاص في فلورنسا؛ إذ أباد ثلاثة أرباع سكانها بين عامي ١٣٤٧ و١٣٤٨. لكن بحلول القرن السادس عشر الميلادي، صارت حالات تفشي الوباء أقلَّ حدة ووتيرة.[1] المدينة الآن تتعافى بل تزدهر باعتبارها واحدةً من أسرع المدن نموًّا في أوروبا.

وُلِد ليوناردو خارجَ إطار الزواج لكاتب العدل بيرو دا فينتشي وخادمته كاتارينا. كانا يعيشان في سفوح تلال بلدية مونتالبانو خارج مدينة فينتشي. وفي منتصف ستينيات القرن الخامس عشر، انتقلت أسرتُه إلى فلورنسا حيث تتلمذ ليوناردو الصغير في استوديو النحَّات والصائغ والرسام أندريا دل فيروكيو. لم يمرَّ وقتٌ طويل حتى أَسَرت مواهب ليوناردو البارزة انتباهَ الرعاة الأثرياء والمؤثِّرين الذين كلَّفوه بمشاريعَ مثل لوحة «تمجيد المجوس للطفل يسوع» غير المنتهية في دير سان دوناتو في سكوبيتو بفلورنسا، والتي توجد الآن في معرض أوفيزي. انتقل ليوناردو إلى ميلانو عام ١٤٨٢ حيث رسم لوحة «عذراء الصخور» لأخوية «الحَبَل بلا دنس» ولوحته الاستثنائية التي بعنوان «العشاء الأخير» لدير سانتا ماريا ديل جراتسييه في ميلانو.

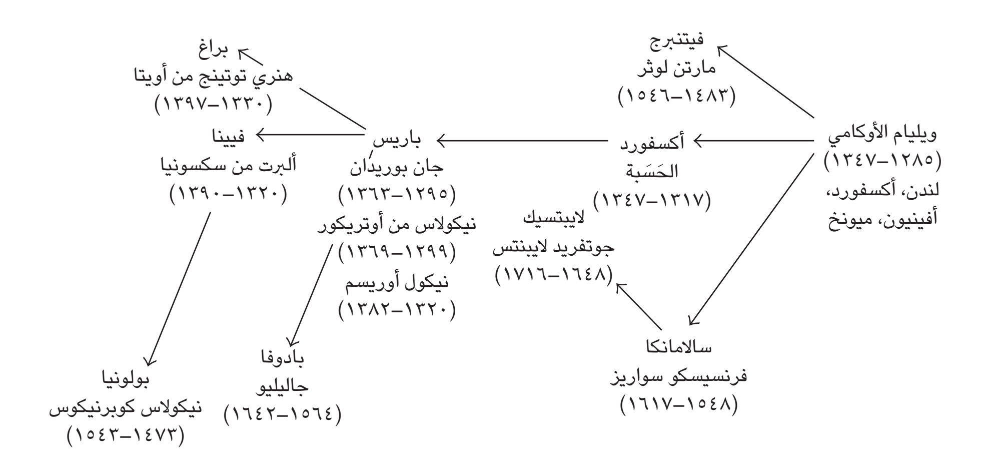
استمرت المشاريع التي كُلِّف بها ليوناردو في العقود التي تلت ذلك، ولم تقتصر على الأعمال الفنية فحسب، بل اشتملت أيضًا على مشاريعَ معمارية وهندسية. ففي عام ١٤٩٩، ابتكر هيكلًا من الحواجز المتحركة ليحمي مدينة البندقية من الفيضان؛ وبعد ذلك بثلاث سنوات، عمل مع نيكولو مكيافيلي على تصميم نظامٍ لتحويل مجرى نهر أرنو. كان

هذا المشروع كارثةً مروِّعة نتج عنها خسارة ثمانين شخصًا أرواحَهم. فكلَّفت الحكومة المحلية لفلورنسا ليوناردو بالعمل مع مايكل أنجلو غيرَ عابئة بما حدث ليرسما لوحةً لمبنى بلديتها أو ما يُعرف بقصر فيكيو. لكن في وقتٍ لاحق من ذلك العام، تُوفي والد ليوناردو وخطَّط هو للسفر لمدينة فينتشي. وقبل رحيله، حزم كلَّ كتبه ومخطوطاته وأعدَّ قائمتين. كان عنوان الأولى «سجل بالكتب التي سأتركها في الخزانة المغلقة»، وحوت القائمة الثانية الكتبَ التي ظلَّت في «خزانة الدير»، والتي يُعتقد أنها تشير إلى دير سانتا ماريا نوفيلا.[2] وحُفِظت هاتان القائمتان مع الكتب التي كانت تصِفها كلٌّ منهما.

يشتهر ليوناردو بالطبع بلوحاته الفنية، والتي تُعَد من بين أعظم روائع الفن الغربي، لكنه كان أيضًا رجلَ نهضة حقيقيًّا؛ إذ قدَّم آلافًا من صفحات الملحوظات التي اشتملت على رسومات طبيعانية رائعة للتكوينات الصخرية، والبلورات، والطيور والحفريات والحيوانات والنباتات والتشريح البشري، وآلات حقيقية وأخرى متصوَّرة. حفِظ ليوناردو هذه الملحوظات بعنايةٍ، وبعد وفاته عام ١٥١٩، جُمعت معًا في دفاترَ متعددة، تُعرف اليوم باسم «مخطوطات ليوناردو». وقد ضاع العديد منها منذ ذلك الحين، لكن نجا الكثير، وهي الآن إما في مجموعاتٍ خاصة أو في متاحف.

على مدى السنوات، حظيت «مخطوطات ليوناردو» بوجهٍ عام بالإعجاب لبراعتها، لكن مؤرِّخي العلم بدءوا يبدون اهتمامًا بها في القرن التاسع عشر. كانت صعوبة فكِّ شفرة الملحوظات مضاعفةً؛ حيث كتبها ليوناردو باللاتينية وبكتابة معكوسة مختزلة متصلة يكاد فكُّ شفرتها يكون متعذِّرًا. كانت إحدى الوثائق — وهي المخطوطة أ — محفوظةً في مكتبة أمبروزيانا في ميلانو حتى عام ١٧٩٦؛ حيث اختلسها نابليون أثناء غزوه إيطاليا، وأُحضِرت إلى مكتبة معهد فرنسا في باريس حيث ظلَّت إلى يومنا هذا. هناك، في بواكير القرن العشرين، كان الفيزيائي ومؤرِّخ العلم الفرنسي بيير دويم (١٨٦١–١٩١٦) يحاول جاهدًا استكشافَ نصِّ ليوناردو الصعب حين أذهله اشتماله على قوانين رياضية مألوفة متعلقة بالحركة والأوزان الساقطة، هذا إلى جانب أفكارٍ تتعلَّق بحفظ الطاقة.[3] اشتملت وثيقةٌ أخرى على رسمةٍ لجناح طائر بحاشية تقول: «يد الجناح هي ما يسبِّب القوةَ الدافعة، ثم يضع مرفقَه نفسه مع الحافة إلى الأمام حتى لا يعيق الحركةَ التي تسبِّبها القوة الدافعة».[4] وما زاد اندهاشه أكثرَ هو الفكرة السائدة في أوائل القرن العشرين، التي مفادُها أن العلم اختفى عمليًّا أثناء فترة «العصور المظلمة» بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية، ولم يبرز من جديد حتى ما يُعرف باسم «عصر التنوير» في القرن السابع عشر.

وقد كُتِبت ملحوظات ليوناردو في القرن الخامس عشر: فمن أين أتى فهْم ليوناردو للمبادئ العلمية المعقَّدة؟



شكل ٦-١: انتشار أفكار ويليام الأوكامي عبْر أوروبا.

خمَّن دويم أن الإجابة قد تكون في محتويات خزانة المكتبة، لكن تلك المحتويات والكتب التي كانت معها اختفت مع الأسف منذ زمن طويل. لكن قوائم المكتبة كانت قد نجَت. وكانت إحداها في مدريد.[5] تمكَّن دويم من الوصول إلى نسخةٍ من تلك القوائم حيث وجد فيها قائمةً بعناوينَ كتبٍ عن مواضيعَ علمية تتنوَّع بين الطب والتاريخ الطبيعي والرياضيات والهندسة والجغرافيا والفلك والفلسفة. كان كثيرٌ من تلك الكتب أعمالًا شهيرة لفلاسفة يونانيِّين قدماء مثل أرسطو وبطليموس وإقليدس، لكن اشتملت تلك القائمة أيضًا على أعمالٍ أقل شهرة لعلماء من العصور الوسطى مثل كتاب «عن السماوات والعالم» لألبرت العظيم. حدَّد دويم مكانَ ما أمكنه من النُّسَخ الباقية من تلك الكتب، وبها تمكَّن من اكتشاف المزيد من الإشارات إلى المفاهيم العلمية الواردة في ملحوظات ليوناردو مثل مفهوم القوة الدافعة. وكان الكثير من النصوص الأصلية يمثِّل شروحاتٍ لأعمال سابقة للعالِمَين الباريسيَّين الأوكاميَّين جان بوريدان ونيكول أوريسم. تتبَّع مزيدٌ من العمل البحثي على يد دويم ولاحقًا على يد إيرنست مودي (١٩٠٣–١٩٧٥)

أثرَ العلماء الإنجليز على ليوناردو، فوجد أنه تأثَّر بمجموعة من العلماء الإنجليز في العصور الوسطى الذين يُعرفون ببساطة باسم «الحَسَبة»، وأيضًا إلى حركةٍ تُعرف باسم «المذهب الجديد» التي كان ويليام الأوكامي ملهِمَها.[6] وتمامًا مثلما حدث من إعادة اكتشافٍ للكتب اليونانية في القرنين الثاني عشر والثالث عشر الميلاديَّين، اكتشف دويم وزملاؤه حِقبة كانت منسية تمامًا من تاريخ العلم، فخلَص إلى الآتي: «في أعمال ليوناردو الميكانيكية، ليست هناك فكرة أساسية لا تتأتَّى من علماء هندسة العصور الوسطى».[7] لذا من الواضح أن الطاعون الذي أباد ممارسي «المذهب الجديد» لم يتمكَّن من القضاء على أفكارهم.

ليس هناك من سببٍ يدعو إلى الاعتقاد بأن ليوناردو كان يتمتَّع بإمكانية وصول خاصة لأفكار وفلسفة «المذهب الجديد» في القرن الخامس عشر؛ لذا من المرجَّح أن آلافًا من العلماء الآخرين كانوا على علمٍ بشفرة أوكام وبالعلم الذي استُلهِم منها. لكن تظل الطريقة التي نُقِل بها التقدُّم الذي أحرزه أتباع «المذهب الجديد» عبْر القرون قبل اختراع الطباعة لغزًا. لكنَّ بحوثًا لاحقة كشفت عن طريقين رئيسيَّين، كل طريق منهما يصاحب واحدة من الثورتين الثقافيتين الكبريين اللتين حدثتا في العصور الوسطى المتأخرة.

الطريق الجنوبي نحو عصر النهضة

قبل اثنين وسبعين عامًا من مولد ليوناردو، في ليلة في وقتٍ ما من عام ١٣٨٠ تقريبًا، كان أحد أعظم موسيقيِّي فلورنسا وملحنيها وهو فرانشيسكو لانديني (حوالي ١٣٢٥–١٣٩٧) يرى حُلمًا في المنام. في ذلك الحلم، زاره راهب إنجليزي شهير. كان لانديني هو أشهر الموسيقيِّين وأكثرهم إبداعًا في فلورنسا، بل في إيطاليا بأسرِها. وكان لانديني سيتَّبع والده في أن يصبح رسامًا — إذ كان ابن الرسام جاكوبو دل كازنتينو (حوالي ١٣١٠–١٣٤٩) الذي يُعَد أحدَ أتباع مدرسة جوتو — لو لم يُصب بالعمى نتيجةَ إصابته بالجدري وهو طفل. حوَّل الشاب اليافع مواهبَه الإبداعية إلى الموسيقى والشعر وصناعة الآلات الموسيقية. وكان صوته في الغناء أسطوريًّا. في كتابه «جنة ألبرتي»، قال الكاتب وعالِم الرياضة والفيلسوف الإنسانوي جيوفاني دا براتو عن عزف لانديني إنه «لم يسمع أحدٌ من قبلُ مثلَ تلك الإيقاعات الجميلة، وإن قلوب الناس كادت تنبثق من صدورهم من النشوة». برع لانديني في استخدام مجموعة كبيرة من الآلات الموسيقية، من بينها الريبيك التي تعود للعصور الوسطى والناي والأورجانيتو وهو الأرغن المحمول باليد. كما استخدم مهارته أيضًا في صناعة الآلات الموسيقية بما فيها أراغن لكلٍّ من كنيسة سانتيسيما

أنونزياتا وكاتدرائية فلورنسا. بل إنه حتى ابتكر آلاتِه الخاصة به، بما في ذلك شكل من أشكال العود يُدعى سيرينا سيريناروم.

كان أكثر ما يشتهر به لانديني هو كونه ملحنًا لفن المادريجال. كانت معظم ألحانه في هذا الشأن تشتمل على صوتين، وتجمع بين التأثيرات الفرنسية والإيطالية لتنتج أسلوبًا جديدًا يحظى بإقبالٍ كبير في لقاءات نخبة فلورنسا الثقافية. في مثل تلك اللقاءات، يلتقي الأثرياء أو الموهوبون أو الفاتنون أو البارعون أو ذوو السلطة ليُلقُوا الشعر أو يتناقشوا حول آخر الأعمال الفنية أو يستمعوا إلى الموسيقى التي يلحِّنها لانديني في معظم الأحيان ويعزِفها ويغني بعضَها. ومتى دعا مواطنو فلورنسا ذلك الموسيقي والملحِّن العظيم، كانوا يتطلعون أيضًا إلى بعض الفواصل الفلسفية بين المقاطع الشعرية. كانت الفلسفة هي حبَّه الكبير الثاني، خاصة اسمانيةَ ويليام الأوكامي الثورية، الذي تسرَّبت أفكاره إلى إيطاليا عبْر طرقِ التجارة والحجِّ والدبلوماسية. بل إن لانديني ضمَّن فلسفةَ الأوكامي حتى في شعره الغنائي. ففي أغنيته «تأمل الأشياء العظيمة» كتب يقول: «عناصر العقيدة المسيحية … ينبغي أن تُقبل كما هي. لا يمكن إثباتها بالعقل؛ وكذلك لا يمكن أن نجعلها أساسَ المعرفة. فالعلم واللاهوت مختلِفان على نحوٍ أساسي ولا ينبغي الخلط بينهما». وفي مقطع شعري آخر، غنَّى يقول: «من الجيد أن تتأمَّل أعمال الرب العظيمة، لكن من غير الضروري تفسيرها».[١]

كان القرن الرابع عشر الميلادي (تريسنتو) وهو القرن الذي سبق القرن الذي حدثت فيه ذروة عصر النهضة الإيطالية (كواتروسينتو) — قرنَ اضطرابات فكرية في إيطاليا؛ حيث ابتعدت ثقافتها تدريجيًّا عن العالَم القديم الخاص بالعصور الوسطى واتجهت نحو مستقبلٍ مجهول. في خطابٍ كتبه لانديني بلغة لاتينية شعرية لصديق له في أفينيون حوالي عام ١٣٨٠، يصِف الملحن كيف أن شبح ويليام الأوكامي أتى يزوره في حلمٍ ليشكو من «الكلاب المتوحشة» التي هاجمت الفلسفةَ العقلانية لمن يُسمَّون ب «الهمج الشماليِّين» وكيف أن أولئك «يكرهون علماء المنطق كما يكرهون الموت».[8] كانت «الكلاب المتوحشة» في واقع الأمر هم بعضَ المفكِّرين المشهورين في عصر النهضة الإيطالية الذين أداروا ظهورَهم بالفعل للفلاسفة المدرسيِّين. وعلى الرغم من كونه عضوًا في تلك الحركة، فإن لانديني هبَّ للدفاع عن الأوكامي. وفي نهاية ذمٍّ طويل في حق «رجل جاهل» كان يحرِّض «الجماهير الجاهلة» ضد فلاسفة الماضي العظام، تنبَّه شبح الأوكامي لقدوم النهار بفعل أصوات الباعة الجائلين ثم «اختفى الشبح الجليل في العدم».

هذه القصة الرائعة التي لم يُكشف عنها إلا في عام ١٩٨٣ تُظهر كيف أن فلسفةَ ويليام الأوكامي في عام ١٣٨٠ كانت قد تسرَّبت خارج أكسفورد وأفينيون وباريس وميونخ لتنفذ سريعًا إلى القلب النابض للحياة الثقافية الإيطالية في القرن الرابع عشر. وليس من الواضح كيف أو لماذا أصبح لانديني على درايةٍ بويليام الأوكامي لكن هناك عددًا من الطرق المحتملة. لقد عاش الشاعر التوسكاني بيترارك في أفينيون، بينما كان ويليام الأوكامي يجابه البابا في المدينة، وسافر لاحقًا إلى فلورنسا، وعلى الأرجح أنه كان معروفًا لدى لانديني. كما سافر لانديني كثيرًا أيضًا على الرغم مما به من عمًى، وربما أنه وقع على تعاليم الأوكامي من خلال كتابٍ مؤثِّر عن المنطق الاسماني بعنوان «منطق مفيد للغاية» كتبه ألبرت الساكسوني، وهو أحد تلاميذ بوريدان الأوكاميِّين، الكتاب الذي نُسخ ووُزِّع على نطاقٍ واسع بين مراكز التعليم في أوروبا، بما فيها براغ وباريس وأكسفورد وفيينا وبولونيا وبادوفا والبندقية.

وكما اكتشفنا بالفعل، فقد قدَّم الناسخون المدرسيون مسارًا سريعًا بشكلٍ مدهش لنقل المخطوطات عبْر أوروبا. إلا أن المخطوطات كانت باهظةَ الثَّمن للغاية؛ الأمر الذي يجعل منها وسيلةً من وسائل الترف التي يكون الوصول إليها مقصورًا على رجال الدين أو النخبة المثقفة الثرية. تغيَّر كلُّ هذا في العام ١٤٤٥، أي بعد مائة عام تقريبًا من موت الأوكامي وستين عامًا بعد الحُلم الذي راود لانديني، حين اخترع يوهانس جوتنبيرج الطباعةَ الحديثة. كان أول ما صدر من تلك الطباعة هو إنجيل جوتنبيرج الشهير، الذي طُبِع في مدينة ماينتس عام ١٤٥٥. وفي العقود التي تلت ذلك، نشأت مؤسساتُ الطباعة عبر أرجاء أوروبا. قبل الطباعة الحديثة، كان مجموع الكتب الموجودة في أوروبا بأسرِها يصل إلى ٣٠ ألف كتاب فقط؛ أما بحلول العام ١٥٠٠، فكان هناك أكثر من ٩ ملايين كتاب مُتداول. وبينما زادت أعداد الكتب، أصبحت أرخصَ وأسهل في الوصول للأثرياء من التجار والدارسين والحرفيِّين. فارتفعت مستويات التعليم بصورة كبيرة، مما زاد الطلب على الكتب الجديدة، وعندما أصبحت سوق طباعة الكتاب المقدَّس متشبعة، سعت مؤسسات الطباعة لإيجاد مخطوطات الرق التي يمكن نسخُ متنِها إلى نسخة مطبوعة.

وما صدر من الطباعة بعد ذلك كان نُسخًا مطبوعة من الأعمال اللاهوتية لأوغسطينوس أو الأكويني وآخرين، وكذلك أعمال الفلاسفة القدماء، ومنهم أرسطو وجالينوس وبطليموس وإقليدس. وقد احتوت إحدى خزائن ليوناردو على نسخةٍ من كتاب إقليدس «العناصر» المطبوع في البندقية في دار طباعة إيرهاردوس راتدولت في

عام ١٤٨٢. وفي عام ١٤٧١، نشأت أولى دُور الطباعة المتخصصة في النصوص العلمية في نورنبيرج على يد ريجيومونتانوس (١٤٣٦–١٤٧٦) وهو شخصية محورية في حركة النهضة الألمانية. إذ طُبع كتاب عن علم الفلك الخاص ببطليموس بعنوان «نظريات جديدة عن الكواكب»، والمبني على محاضراتٍ ألقاها معلِّمه جيورج فون بيورباخ. كما كانت البندقية أيضًا مركزَ طباعة ذا أهمية، واشتملت مكتبة ليوناردو على نسخةٍ من كتاب ساكروبوسكو بعنوان «كرة العالم» الذي طُبِع في المدينة عام ١٤٩٩.

وبعد أن نفِدت نصوص الفلسفة القديمة واللاهوت سريعًا، حوَّلت دُور الطباعة اهتمامها إلى الأعمال الحديثة عن العلم والفلسفة، والتي تنتمي إلى «المذهب الجديد». فطُبِعت معظم أعمال ويليام الأوكامي الفلسفية واللاهوتية الكبرى في نحو ذلك الوقت. إذ حُرِّرَت شروحاته النهائية للكتاب الأول من عمل لومبارد «كتب الأحكام الأربعة» للمرة الأولى في ستراسبورج عام ١٤٨٣، ثم أُعيد تحريرها بعد ذلك وطباعتها في مدينة ليون عام ١٤٩٥ مع شروحاته الأولية عن الكتب من الثاني وحتى الرابع من عمل لومبارد السابقِ ذكرُه. أما عمله «مسائل جدلية»، وهو سجلُ مناظراته، فقد طُبِع مع كتابه «سر المذبح» في ستراسبورج عام ١٤٩١، في حين طُبِع كتابه «خلاصة المنطق» في باريس عام ١٤٨٨.[9] وكذلك طُبع العديد من أعماله الأكثر تأثيرًا، ومن بينها كتابه «خلاصة المنطق» في بولونيا بين أعوام ١٤٩٦ و١٥٢٣ على يد بينيديتو فايلي.[10] وأُعيدت طباعةُ عدة أعمال له في القرون التالية خمس مرات أو ستًّا؛ لذا من الواضح أنها كانت مطلوبةً بكثرة، وقد شقَّت تلك النُّسخ طريقَها عبْر أرجاء أوروبا بأسرِها. كما أُتيحت كذلك نُسخٌ مطبوعة من أعمال بوريدان وأوريسم وسواينشيد وهايتسبيري في كل المدن الرئيسية في أوروبا.[11] وعلى الأرجح أن نسخةً من كتاب «عن السماوات والعالم» الذي يعود إلى ألبرت الساكسوني، وهو التلميذ الأوكامي لبوريدان، والتي طُبعت في مدينة بافيا عام ١٤٨٢ كانت إحدى تلك النُّسخ المحفوظة في خزانة ليوناردو. فكتاب ألبرتو كان يُعَد هو المصدرَ المرجَّح لمعرفة ليوناردو بالقوانين الرياضية التي تتعلَّق بالحركة والقوة الدافعة.[12] لقد كانت فلسفة ويليام الأوكامي وأتباعه بعيدةً كلَّ البعد عن كونها منسية؛ إذ كانت منتشرة في القرون التي تلت تفشي الطاعون، إذ لم تُثِر نقاشاتٍ حيةً في قاعات فلورنسا الموسيقية فحسب، بل كان أيضًا لها تأثير عميق على الثورات الثقافية التي أنهت حِقبة «العصور الوسطى» ودشَّنت العالم الحديث.

إله الاسمانية الغامض

تمامًا كما خلق الرب كلَّ المخلوقات بمحض مشيئته، فإن بإمكانه أن يفعل بهم ما يشاء بمحض مشيئته. ومِن ثَمَّ، إن أحبَّ أحدٌ ربَّه وأدَّى كلَّ ما يرضى به من أعمال، فلا يزال بإمكان الرب أن يمحقه من دون أن يكون مسيئًا له. وبالمثل، بإمكان الرب بعد كل هذه الأعمال أن يمنع عنه الحياةَ الأبدية ويخلِّده في عقابٍ أبدي من دون أن يكون مسيئًا له. ذلك أن الرب لا يَدِين لأحد.

ويليام الأوكامي، من شروحاته لعمل لومبارد
«كتب الأحكام الأربعة»، ١٣٢٤[13]

مع أنني قرأت هذه الفقرة التي كتبَها ويليام الأوكامي قبل سبعة قرون عدةَ مرات، إلا أنها لا تزال تصدمني. قد لا يكون الربُّ مات بعدُ،[14] لكنَّ عِقِبَه الاسماني مطلَق السلطة والذي لا سبيل إلى معرفته، لا يترك إلا مساحة قليلة جدًّا للبشر. هذا الأمر مزعجٌ في عصرنا هذا، لكن لا بد أنه لقي صداه في أوروبا التي كان الناس فيها لا يزالون يترنَّحون بعد لقائهم مع عدو لدود اعتقدوا أن الرب أرسله عليهم: وهو بكتيريا الطاعون. في كتابه الصادر عام ٢٠٠٨ بعنوان «الأصول اللاهوتية للحداثة» يدفع الفيلسوف والمؤرِّخ الأمريكي مايكل ألين جيليسبي بأن فلسفة ويليام الأوكامي مثَّلت الشرارةَ التي أضاءت عصر النهضة وحركة الإصلاح كلتيهما. وطبقًا لجيليسبي، كان تعرُّف أوروبا على فلسفة الأوكامي هو ما «قلب العالم رأسًا على عقب».

رجل عصر النهضة

آه، أناس جدد، متغطرِسون بما يفوق الحد، عاقِّين أمًّا عظيمة جدًّا كهذه!

بيترارك، الأغنية ٥٣، المقطع ٦

عصر النهضة، بثلة التغييرات السياسية والثقافية والاجتماعية والفنية الخاصة به، والتي حدثت على مدى عدة قرون، كان له من الأسباب والمظاهر الكثير. يشتمل هذا على موت نصف القوة العاملة الأوروبية جرَّاء الطاعون؛ الأمر الذي دفع بدوره العبيدَ إلى الهروب من أسيادهم من أجل البحث عن عملٍ مدفوع الأجر. ومن دون مصدر وافر من الفلاحين

العاملين المذعنين، انهار النظامُ الإقطاعي عمومًا. وقوَّض الطاعون أيضًا الثقةَ في الكنيسة الكاثوليكية؛ حيث علِم الناجون منه أن ملايين الصلوات والاعترافات والقدَّاسات لم تستطِع إيقاف تلك الفاجعة. فانتشرت روحٌ جديدة من التشكك عبْر أرجاء القارة. كان أحد أكثر المتشككين المؤثِّرين هو الشاعر والعالم فرانتشيسكو بيتراركا (١٣٠٤–١٣٧٤) الشهير باسم بيترارك، الذي يُعَد في الغالب أبا فلسفةِ عصر النهضة الإيطالية، الإنسانوية.

وُلِد بيترارك في إقليم توسكانا، لكنه أمضى معظمَ بواكير حياته في أفينيون، فتداخل وجوده مع إقامة ويليام الأوكامي القسرية في تلك المدينة. ومثل الأوكامي، هاجم بيترارك البابوية باعتبارها مؤسَّسةً فاسدة ومنافقة. ورغم أنه تلقَّى تعليمه وفقَ التقليد المدرسي، فقد كرِه بيترارك عندما كبِر منطقَ أرسطو العتيق، مفضِّلًا عوضًا عن ذلك نثرَ روما القديمة الراقي، وخاصة نثرَ الدبلوماسي والمحامي والخطيب والكاتب شيشرون (١٠٦–٤٣ قبل الميلاد) الذي كان أوَّل مَن استخدم المصطلح اللاتيني humanitas ليشيرَ إلى التعلُّم والتفكير اللذين يركِّزان على الإنسانية وليس الآلهة. سافر بيترارك كثيرًا في أرجاء أوروبا، وأمضى سنواتٍ عدة في فلورنسا، حيث ربما كان أحد «الكلاب المتوحِّشة» في حُلم لانديني. ورغم أنه لا يأتي على ذكرِ ويليام الأوكامي في كتاباته أبدًا، فمن المؤكَّد أنه عرفَ بوجود ذلك العالِم الإنجليزي الذي أحدث ضجَّة كبيرة في مدينته الأم.

لا تزال جذور الفلسفة الإنسانوية لدى بيترارك محلَّ جدال شديد، لكن الكثير من الباحثين دفعوا بأن تلك الجذور تكمُن في اطلاعه على ما يُطلِق عليه جيليسبي «إله الاسمانية الغامض».[15] إذ رفض بيترارك — مثل الاسمانيِّين — الواقعيةَ الفلسفية ووجود الكليَّات. كما شدَّد على أسبقية قدرة الإله المطْلَقة، وعلى عدم القدرة على معرفة الإرادة الإلهية. وفي مقاله «عن جهله وجهل آخرين كُثُر» أكَّد بيترارك أنه «من المستحيل في هذه الحياة أن نعرف الرب معرفةً كاملة»، وعلى أن «الطبيعة لم تخلُق شيئًا من دون صراع وكراهية».[16] وخلَص بيترارك إلى حتميةِ أن يضع الإنسان ثقتَه في إبداعه إن كانت قدرتنا لا تسعُ معرفة خطة الرب للبشرية. وشدَّد كذلك على أنه «لا شيء جدير بالإعجاب سوى الروح؛ فلا شيء يُعَد عظيمًا مقارنةً بعظمتها».[17] وأصرَّ بيترارك على حتمية أن تصيغ البشرية طبيعتَها بنفسها، وذلك في ظل عدم وجود كلية «الإنسانية» الواقعية لتستعين بها. وكان ردُّه على الإله الاسماني هو ابتكار إنسانية فردية بشكل جذري، وحثَّ إخوانه البشرَ على أن يهجروا السعي الذي لا طائل منه نحو التحقُّق الخارجي واستعادة إنسانيتهم والبحث عنها من خلال الاستبطان. ففي رأي بيترارك، يمكن للبحث في الذات والتخيل

الإبداعي أن يحقِّقا حتى منزلةً إلهية من نوعٍ ما. وقد طرح يتساءل: «ما الذي يمكن أن يهدِف إليه الإنسان ويفكر فيه — ولا أقول يأمُله — أكثر من أن يكون إلهًا؟»[18]

يرى مؤرِّخ الفنون الأمريكي والباحث في مجال عصر النهضة تشارلز ترينكوس (١٩١١–١٩٩٩) تأثيرَ ويليام الأوكامي أيضًا في شعر بيترارك.[19] إذ يحاجِج ترينكوس بأن بيترارك استغلَّ تحرير الاسمانيِّين للكلمات من قيود الواقعية الأفلاطونية ليفتح عالَمًا جديدًا تمامًا من المجازات الشعرية المرنة. ويتعرَّض الناقد الأدبي الأمريكي هولي والاس باوتشر[20] لهذا المبحث ليدفعَ بأنه في حين أن الكُتَّاب الأوائل في فترة العصور الوسطى أمثال دانتي، قد أدركوا أن للكلمات «علاقة بسيطة وواضحة بالحقيقة و[أنها] صورة للنظام الإلهي»، فإن اسمانية الأوكامي حطَّمت تلك العلاقة الجامدة. لذا، يمكن للكلمات أن تعني أيًّا ما يختار لها الشاعر من معانٍ، أو حتى، من منظورِ ما بعد حداثي، ما يضفي عليها كل قارئ منفرد من معنًى.[21] وهكذا، في عمل جيوفاني بوكاتشو بعنوان «الديكاميرون» الذي كتبه بعد ٣٠ عامًا فقط من موت دانتي، كانت الكلمات قد تخلَّصت بالفعل من معانيها الرمزية أو الإلهية لتقدِّم شعرًا طبيعانيًّا أكثرَ يناسب وصفَ الناس العاديِّين وهم ينخرطون في الأنشطة البشرية العادية، كالطهو أو تناول الطعام أو تحدُّث بعضهم إلى بعض، أو تناول الشراب أو ممارسة شهواتهم أو ممارسة الفسوق وخداع بعضهم بعضًا. لذا بعد أن أضحت الكلمات غيرَ مثقلة بقيود مراسيها الواقعية، أصبحت في النهاية حرةً لتقدِّم المجازات التي تسمح بفهمنا المشترك للشعر:

> ... انظري، يا حبيبتي، أية خيوط حاسدة
> تزركش السُّحب المتقطِّعة في الشرق الأبعد:
> لقد ذابت شموع الليل، والنهار السعيد
> يقف على أطراف أصابعه فوق قمم تلك الجبال المكلَّلة بالضباب.

شكسبير، «روميو وجولييت»، الفصل الثالث، المشهد الخامس

لم يكن فرانشيسكو لانديني هو الفنانَ الوحيد الذي تأثَّر باسمانية ويليام الأوكامي. ففي كتابه بعنوان «تاريخ الفن كتاريخ الأفكار»،[22] دفع المؤرِّخ الفنيُّ الفيينيُّ ماكس دفوراك (١٨٧٤–١٩٢١) بأن اسمانية ويليام الأوكامي ساعدت في استثارة التحوُّل في التركيز من المنظور الواقعي الفلسفي الإلهي الذي تتسم به أساليبُ الرسم البيزنطية

والأوروبية العصرأوسطية وكذلك الإسلامية[٢] نحو المذهب الطبيعاني الذي يميِّز الحداثة. إذ حلَّ الأفراد محلَّ الأنماط الأولية، ويمكن لأرنبٍ في رسمةٍ ما أن يمثِّل في النهاية مجردَ أرنب.

بالطبع لم يتغيَّر الفن بين ليلةٍ وضحاها، وشأنُه في ذلك شأنُ كلِّ شيء آخر. إذ استمر وجود الرمزية والقصص الرمزية والأنماط الأولية في الفنون الأوروبية طيلةَ عدة قرون، عادة إلى جانب التمثيلات الطبيعانية. لكن نزعَت تلك المرحلة الأخيرة من الرمزية إلى أن تكون أقربَ إلى طبيعة شفرة سرية بين الفنان والمشاهِد المطَّلِع، وليس كمحاولة لتمثيل رسالة الإله. يحاجِج أرنولد هاوزر (١٨٩٢–١٩٧٨)[23] في كتابه بعنوان «التاريخ الاجتماعي للفن» المنشور في عام ١٩٥١ بأن «الواقعية هي التعبير عن ديناميكية ثابتة ومحافظة ... [في حين أن] المذهب الاسماني الذي يدَّعي أن كلَّ شيء بعينه له نصيب من الوجود يتوافق مع نظامٍ حياتي يتمتع فيه حتى أولئك الذين يقفون على أدنى درجات السلَّم بفرصةٍ في الصعود». وقال هاوزر إن المذهب الاسماني حثَّ على تبنِّي أسلوب فني أكثرَ ديمقراطية وطبيعانية، مُنح فيه البشر العاديون قدْرَ الانتباه نفسه الذي مُنح للملوك والقديسين. يُمكن رؤية هذا التحوُّل في لوحة ليوناردو دا فينتشي الشهيرة بعنوان «العشاء الأخير» (التي ظهرت حوالي عام ١٤٩٥) حيث يحتل كلُّ تلميذ من تلامذة المسيح المساحةَ نفسها التي يحتلها المسيح على رقعة الرسم، وكان هذا شيئًا نادرَ الحدوث في اللوحات السابقة لذلك. ويظهر هذا التحوُّل بصورةٍ أكبر حتى بعد مائة عام لاحقة في لوحة كارافادجو التي بعنوان «العشاء في عمواس» (التي رسمها حوالي عام ١٦٠٠)؛ حيث نجد صاحبَ الحانة المجهول هو على الأرجح الشخصية الأبرز في المشهد.

هرمس والمذهب الإنسانوي

في حين كان المذهب الاسماني لويليام الأوكامي مصدرَ إلهام لرواد المذهب الإنسانوي، فقد أدار ظهره، مع تطوُّر حركة النهضة، بشكل متزايد للفلاسفة المدرسيِّين وأرسطو. أدَّى دَور العامل الحافز في هذا مارسيليو فيتشينو، وهو العالِم والقس ومستشار كوزيمو دي ميديشي دوق توسكانا الأكبر، والذي عاش من ١٤٣٣ حتى ١٤٩٩. بحلول ذلك الوقت، كان التواصل مع البيزنطيِّين قد أعاد المعرفةَ باليونانيِّين القدماء إلى أوروبا الغربية، وترجم فيتشينو عدة أعمال لأفلاطون من اليونانية إلى اللاتينية مباشرة. أصبح فيتشينو مفتونًا بفلسفة أفلاطون وبصورة خاصة كتاباته الكثيرة عن طبيعة الروح، التي رأى أنها

وسيلةٌ لمكافحةٍ ما في رأيه أنه نزعة خَطِرة بين الاسمانيِّين نحو فصل الفلسفة عن الدين. وفي وقتٍ ما بين عامي ١٤٦٩ و١٤٧٤، جمع فيتشينو شرحًا وملخَّصًا لأفكار أفلاطون تحت عنوان «اللاهوت الأفلاطوني» بعنوان فرعي مثير هو «عن خلود الأرواح». وشدَّد فيتشينو على أن أفلاطون هو الفيلسوف الراعي للديانة المسيحية وليس أرسطو.

كانت ترجمات فيتشينو وشروحاته تحظى بشعبية كبيرة؛ إذ مثَّل أسلوب أفلاطون الشاعري النيِّر في الكتابة، الذي كان يعجُّ بالقصص الرمزية والسرديَّات والمحاورات، تحرُّرًا محتفًى به من منطق أرسطو العتيق. وما أسر انتباه أتباع المذهب الإنسانوي بصفة خاصة هو تركيز أفلاطون على اكتشاف الذات. وانسجم التحوُّل من المنهج التجريبي الأرسطي إلى الاستبطان الأفلاطوني مع المذهب الإنسانوي السائد، وأطلق شرارةَ إحياء الفلسفة المعنية بالتصوف والسحر التي تُعرف باسم الأفلاطونية المحدَثة، والتي ازدهرت في سنوات احتضار الإمبراطورية الرومانية. وحين سمِع كوزيمو دي ميديشي أن بعض النصوص اليونانية الأفلاطونية المحدَثة التي أُعيد اكتشافها قد وصلت حديثًا إلى فلورنسا، أمرَ فيتشينو بأن ينصرف عن ترجمة المزيد من أعمال أفلاطون ويصبَّ تركيزه بدلًا من ذلك على ترجمة كتابات قديمة لشخصيةٍ أسطورية تُعرف باسم هرمس طريس مِجَسْطيس، والذي يُقال عنه إنه كان «كاهنًا ونبيًّا ومشرِّعًا عظيمًا» من قدماء المصريين.

في مقدِّمته لما يُعرف غالبًا باسم «متون هرمس» الذي طُبع عام ١٤٧١، يروي فيتشينو كيف أن «في الوقت الذي وُلِد فيه موسى، كان هو وقت ازدهار المنجِّم أطلس، وهو أخو الفيلسوف الطبيعاني بروميثيوس وجَدُّ عطارد العظيم، الذي كان حفيده هو هرمس طريس مِجَسْطيس … يقولون إنه قتل العملاق آرجوس وحكم المصريِّين وقدَّم لهم الحروف والقوانين». زعم فيتشينو أن النصوص المترجمة حديثًا بما فيها من مزيج الفلسفة والتصوُّف الفيثاغورسي والخيمياء والسحر والأساطير والفلك كانت تمثِّل نافذةً على تقليد صوفي أقدمَ منها ألهم فيثاغورس وأفلاطون والكتابَ المقدَّس اليهودي.

وقد حظيت الهرمسية، رغم مزاعمها الغريبة التي كانت لتُرفَض باعتبارها هراءً قبل ذلك بمائة عام، بشعبية كبيرة بين أتباع المذهب الإنسانوي الذين أبدَوا اهتمامًا بقدراتِ المخيِّلة البشرية الطليقة. إذ بدا أنها تمثِّل القطعة الناقصة في الأحجية الإنسانوية والتي تتمحور حول كيفية تحويل الإنسان إلى إلهٍ مبدع من نوعٍ ما. وكانت الإجابة هي السحر. زعم جيوفاني بيكو ديلا ميراندولا (١٤٦٣–١٤٩٤)، النبيل الإيطالي والصديق المقرَّب للورينزو دي ميديشي وصاحب كتاب «خطبة عن كرامة الإنسان» الذي يُصنَّف كبيانٍ

لحركة النهضة، أن الملائكة كانت تساعد الناس على الطيران، وأن إتقانه القَبَالة العبرية[٣] منحته القدرةَ على التحدُّث بكلماتٍ ذات قوة سحرية.[24] وكان الفلاسفة الهرمسيون بالفعل يزعمون أن الكونَ بأكمله شبكةٌ من القوى السحرية، ومِن ثَمَّ يمكن قراءة الإجابة عن أي سؤال في النجوم. كان التنجيم قد عاد كموضوع سائد بعد أن كان محظورًا أثناء الحِقبة المدرسية، فكان الحكَّام يعيِّنون منجِّميهم الخاصين بهم، كمثل جون دي (١٥٢٧–١٦٠٨)، الفيلسوف الباطني والساحر الشهير ومستشار ملكة إنجلترا إليزابيث الأولى.

شهدت الخيمياء انتعاشةً أيضًا، خاصة باعتبارها مجالًا لوصفات تحضير المستحضرات السحرية التي يمكنها شفاء جميع الأسقام. زعم السويسري الألماني فيليبس أوريولوس ثيوفراستوس بومباستوس فون هونهايم المعروف باسم باراسيلسوس (١٤٩٣–١٥٤١) أن الأمراض هي نتيجة وجودِ عدم تناغم مع الكون، والذي يمكن تسويته من خلال مستحضرات سحرية تركيبتها مكتوبة في النجوم. وشدَّد فيتشينو على أن «الفضائل الباطنية للأشياء ... لا تأتي من طبيعةٍ أوليَّة بل من طبيعة سامية». لذا وفي تناقضٍ صارخ مع المسعى الاسماني نحو البساطة، ابتكر أتباعُ المذهب الإنسانوي في حِقبة النهضة فيضًا من كيانات سحرية وصوفية وباطنية تخطَّت حدودَ الضرورة بكثير.

لكن وعلى الرغم من تعاليم المذهب الإنسانوي الصوفية، فقد احتفظ ذلك المذهب على الأقل باهتمامٍ نحو العالم وبكيفية التأثير فيه. أما في شمال أوروبا، فقد كان للمذهب الاسماني الأوكامي تأثيرٌ فكري غاية في الاختلاف.

الطريق الشمالي نحو حركة الإصلاح

كان العالِم الهولندي الأوكامي مارسيليوس الإنجني (١٣٤٠–١٣٩٦) شخصيةً محوريةً في نقل «المذهب الجديد» إلى جامعات شمال أوروبا. درس مارسيليوس مع جان بوريدان ونيكول أوريسم في باريس، ودرَّس فيها بين عامي ١٣٦٢ و١٣٧٨. ومن باريس، ارتحل إلى مدينة هايدلبرج في ألمانيا، وساعد في تأسيس جامعتها عام ١٣٨٦ بمنهج دراسي اسماني قوي. وكان غزير الإنتاج فقدَّم شروحاتٍ على كتب أرسطو «الطبيعة» و«ما بعد الطبيعة» و«عن الروح» و«عن الكون والفساد»، بالإضافة إلى عدة نصوص عن المنطق، من بينها «أسئلة عديدة عن المنطق القديم والجديد»، وكان يقصد بالمنطق الجديد مذهبَ الاسمانية. نُسِخت هذه النصوص ووزِّعت على نطاق واسع على جامعات ومكتبات في مدن براغ

وكاركوف وهايدلبرج وإرفورت وبازل وفرايبورج، مما ساعد في نشر «المذهب الجديد» عبْر جامعات شمال أوروبا. وقد أدخل جابرييل بيل (١٤٢٠–١٤٩٦) وهو أحدُ أكثر تلاميذ مارسيليوس تأثيرًا، نسختَه الخاصة من الفلسفة الأوكامية إلى أحدِ أعرق المؤسسات الأكاديمية الألمانية وأكثرها تأثيرًا وهي جامعة إرفورت، بحيث أصبح الاسمانيون يهيمنون على كل الجامعات الألمانية عدا واحدة، وذلك بنهاية القرن الخامس عشر.[25]

في عام ١٥٠١، أي بعد ثلاثين عامًا من نشر فيتشينو كتابَه «متون هرمس» في فلورنسا، قبِلت جامعة إرفورت دارسًا يافعًا للفلسفة والقانون يُدعى مارتن لوثر. كان لوثر قد وُلِد في عام ١٤٨٣ في مدينة أيسليبن بساكسونيا، والتي كانت في تلك الفترة منطقةً تقع تحت حكم الإمبراطورية الرومانية المقدَّسة. كان والده فلاحًا، لكن أحواله المادية ازدهرت بالشكل الكافي بعد أن امتهن التعدين بما يسمح لأن يرسل ابنه إلى المدرسة ثم إلى جامعة إرفورت. توفِّي بيل قبل أن يصل لوثر إلى إرفورت بخمس سنوات؛ لذا كان تلميذا بيل، يوهانس ناهان وبارثولوماوس أرنولدي فون أوزيجن، هما مَن طرحا كتابات ويليام الأوكامي على لوثر.

تأثَّر لوثر في سنواته التكوينية الأولى في الجامعة بالأوكامي على نحوٍ كبير، والذي أشار إليه فيما بعدُ بأنه «أستاذه العزيز» مشدِّدًا على أن «الأوكام وحدَه هو مَن فهِم المنطق».[26] قبِل لوثر في سنوات شبابه رفض المذهب الاسماني للكليَّات وآمن بإلهه الكليِّ السلطة، الذي لا سبيل لمعرفته بشكل مخيف. وكتب لاحقًا أنه عاش في رعبٍ من إله غاضب تفوق معرفته قدرات البشر، حتى إلى حد أنه يكره حمل الخبز المقدَّس في القدَّاس.

وفي يوليو لعام ١٥٠٥، ترك لوثر جامعةَ إرفورت ليلتحق بالدير الأوغسطينوسي الخاص بها، فمكث فيه عدة سنوات قبل أن يوافق على وظيفةٍ لتدريس اللاهوت في جامعة فيتنبرج. بحلول ذلك الوقت، كان المذهب الإنسانوي قد توسَّع شمالًا من إيطاليا، فوصل إلى فرنسا وألمانيا وإنجلترا والبلدان المنخفضة، حيث كان الفيلسوف إيرازموس (١٤٦٦–١٥٣٦)، وهو الركن الفكري الآخر لحركة الإصلاح، هو أكثرَ معتنقيها الجدد تأثيرًا. تربَّى إيرازموس يتيمًا على يد أوصياء له؛ فقد كان ابنًا غيرَ شرعي لقسٍّ وابنة طبيب، وقد أرسله الأوصياء عليه إلى مدرسةٍ تديرها أخوية الحياة المشتركة، وهي جماعة دينية تأسَّست في القرن الرابع عشر على مبادئ الفقر الرسولي. دخل إيرازموس ديرًا أوغسطينوسيًّا وهو في عمر الخامسة والعشرين ورُسِّم كاهنًا؛ لكنه كبِر ليصبح كارهًا لحياة الرهبانية، فسافر إلى باريس ليدرس من أجل الحصول على درجة الماجستير في اللاهوت. وهناك شكَّل

إيرازموس نسخته الخاصة من المذهب الإنسانوي، فكانت أقلَّ نزعة نحو التمحور حول الذات والنخبوية، وأكثرَ روحانيةً من نظيرها الإيطالي. كما وضع إيرازموس أيضًا قدرًا من الثقة في النصوص المقدَّسة أكبر من القدْر الذي وضعه الاسمانيون الإيطاليون فيها، مؤكِّدًا إنسانيةَ المسيح كمقابل لإله المذهب الاسماني الذي لا سبيل إلى معرفته. رغم ذلك وعلى غرار أتباع المذهب الإنسانوي الجنوبيين، اعتقد إيرازموس أن الإنسان يصل للرب فقط من خلال المعرفة الذاتية. وكان لوثر يبغض هذه الفكرة.

على غرار القديس أوغسطينوس، رأى لوثر أن الإنسان لا يكاد يستحق المعرفة؛ لأن الإنسانية تُعَد في معظمها كومةً من الانحراف. وفي صدًى كبير للفلسفة الاسمانية لويليام الأوكامي، زعم لوثر أن «الحالة الطبيعية للعالَم هي حالة من الفوضى والاضطراب»؛ لأن «الرب في طبيعته هائل العظمة ومبهَم ولا محدود ... إنه لا يحتمل، فهو إله خفي؛ إذ يقول عن نفسه في الكتاب المقدَّس: «الإنسان لا يراني ويعيش».»[27] ورفض لوثر فِرار الإنسانويِّين الجنوبيِّين إلى الإبداع ليهربوا من الإله الإنسانوي المخيف. كما نبذ أيضًا إنسانوية إيرازموس التي تتسم بأنها أكثر لينًا، وخاصة زعمه أن بإمكاننا الوصول إلى الرب من خلال المعرفة الذاتية والعقل. أكَّد لوثر بدلًا من ذلك أن قدرةَ الرب المطْلقة لا تتوافق والإرادة الإنسانية الحرة. فطبقًا لما يرى لوثر، حدَّد الرب مصير كل إنسان، سواء أكان إلى النار أم إلى الفردوس، وذلك قبل أن يُولد حتى. فالمتَّقون الورِعون لم يكونوا كذلك؛ لأنهم اختاروا أن يتَّبعوا سبيلَ الرب؛ بل إنهم اتَّبعوا سبيلَه لأن الرب بحكمته المجهولة جعلهم على هذه الشاكلة. يرى لوثر أن الإيمان ليس خيارًا نتخذه، وإنما علامة على فضل الرب.

العلم والثورة الثقافية

بكثير من الطرق، لم يكن هناك من خياراتٍ متاحة أمام أيِّ مؤمن يواجه الإلهَ المطلق القدرة، الذي لا سبيل إلى معرفته لويليام الأوكامي، أتباعه الاسمانيين كذلك، سوى الخيارات السيئة. وأول تلك الخيارات أن يتبنَّى منهجَ دسِّ رأسه في الرمال، وذلك من خلال الاستمرار فيما كان عليه من قبلُ بغض النظر عن المنطق ووضع ثقته ليس في المنطق، بل في سلطة الكنيسة. على نحوٍ قد لا يكون مستغرَبًا، كان هذا النهج هو الذي اتبعته الكنيسة الكاثوليكية في النهاية، والتي رفضت مغازلتها للمذهب الاسماني، وعادت إلى الواقعية الفلسفية وإله توما الأكويني المحسِن الخيِّر. وما زالت الكنيسة على هذا الموقف حتى يومنا هذا.

أما الخياران الثاني والثالث فيقبَل كلاهما بطلاقةِ القدرة الإلهية، لكنهما أزاحا إلهَ الاسمانيِّين الغامض إلى الهامش. ومن سلبيات هذه المقاربة أنها تركت البشريةَ في كونٍ ربما يكون عبثيًّا غير ذي معنًى. كان ردُّ الإنسانويِّين — وهو الخِيار الثاني المتاح الذي تبنَّاه بيترارك والإنسانويون الإيطاليون، وإيرازموس على نطاقٍ أضيق — هو ملءَ الفجوة الخاصة بالمعنى بالإنسان، رافعين إياه إلى مكانة شبه إله. أما الخيار الثالث والذي تبنَّاه لوثر فكان اللجوءَ إلى النصوص المقدَّسة باعتبارها الحَكَم على الحقيقة ومصدرَ المغزى في العالم.

كانت هذه كلها خياراتٍ بائسة. كلُّ خيار منها كان خداعًا من نوعٍ ما يقبَل في البداية الإله الاسماني، لكنه يرفضه فيما بعدُ بطريقةٍ أو بأخرى. بعدئذٍ، لم يكن من المرجَّح من جانبِ أتباعِ حركة النهضة ولا الإصلاح أن يُبقوا ويليام الأوكامي قريبًا من قلوبهم. فمن وجهة نظرهم، كان ويليام الأوكامي أشبهَ بصديق الطفولة الذي يخبرك أن بابا نويل غير موجود. لا يمكنك أن تتجاهل المعلومة الجديدة، لكن في أعماق أعماقك، أنت تعلم أن العالم فقد شيئًا من جاذبيته وسحره. ولذا، لم تَعُد تريدَ قضاء المزيد من الوقت مع ذلك الصديق ذي التفكير المنطقي على نحوٍ قاسٍ الذي كشف لك الحقيقة.

مع ذلك، أعتقد أن أكبرَ تأثير لأفكار ويليام الأوكامي لم يكن على الفلسفة أو اللاهوت، بل على العلوم التي نشأت من حالة الاضطراب الفكري تلك. فبطرقٍ شتَّى، كانت القاعدة الفلسفية المتناثرة للَّوثريين، بتبنيهم الأكثر حماسةً لمبادئ «المذهب الجديد» بما في ذلك فصله اللاهوت عن العلم، كانت أقربَ إلى المنهج التجريبي في العلوم الحديثة. على سبيل المثال، كان معلِّم لوثر في إيرفورت، باراثولوماوس أرنولدي،[28] قد علَّمه أن العلم ينبغي أن يتم اختباره من خلال التجربة والمنطق؛ في حين أن المعرفة اللاهوتية لا يمكن أن تتكشَّف إلا من خلال النصوص المقدَّسة. كما تبنَّى اللوثريون أيضًا منهجًا متشككًا صحيًّا تجاه ما تنتجه المخيِّلة البشرية، بما في ذلك التأملات الصوفية والباطنية لدى الإنسانويين الجنوبيِّين. لكن وفي حين لم يكن الإنسانويون الشماليون مهتمين بصورة كبيرة بالعلوم، مفضِّلين أن يبحثوا عن الحقيقة في النصوص المقدسة وليس في العالم، فإن عدم اهتمامهم هذا خلَّف تربة ثقافية يمكن لبذور العلم أن تنبت فيها.

لذا قد يكون من المثير للسخرية أن إنسانوية حركة النهضة هي مَن قدَّمت أعظم علماء ذلك العصر وهو ليوناردو دا فينتشي؛ ذلك الإيطالي العلَّامة، وذلك كما تكشَّف في «مخطوطاته» الاستثنائية. فتوليفته الفريدة من الفن والتكنولوجيا والعلم كان من الممكن

أن تمثِّل نقطةَ الانطلاق لثورة علمية في القرن السادس عشر، خاصة أنه كان يتمتَّع بدرجة صحيَّة من التشكك تجاه العلوم الزائفة في عصره، مثل التنجيم والخيمياء. على الرغم من ذلك، لم ينشر ليوناردو قط أفكارَه، وعلى حدِّ علمنا، لم يقرأ أحدٌ سواه «مخطوطاته» في حياته. وبعد وفاته، أبدى القيِّمون على مخطوطات ليوناردو إعجابَهم بها لما تحتوي عليه من فنٍّ وليس من علم. كان الإنسانويون الجنوبيون في معظم الأحيان يتبنون الفكرَ الباطني، حيث كان ينقصهم ما يتمتَّع به ليوناردو من براعة فكرية وافتتان بالعالم الطبيعي، كما كانوا غير عابئين بشفرة أوكام.

وحيث كان اللوثريون ينصرفون عن العلم بشكل كبير، وكان الإنسانويون يمارسون تعاويذهم، لربما تعرَّض العلم مرة أخرى للركود. لكنَّ تعاونًا مستبعَدًا بين الراهب الإنسانوي في كاتدرائية كاركوف الكاثوليكية وعالِمًا تلقى تعليمه في فيتنبرج اللوثرية كان سببًا في إيجاد حلٍّ بسيط للخروج من هذه المعضلة.

هوامش

(١) لا تزال تسجيلات موسيقى لانديني متاحة إلى يومنا هذا.

(٢) هذا التناقض بين المنظور الإلهي لفن المنمنمات الفارسية والمنظور الفردية للفنون الغربية في عصر النهضة مصوَّر بشكل لافت في رواية أورهان باموق الرائعة التي بعنوان «اسمي أحمر».

(٣) تفسير صوفي يهودي قديم للكتاب المقدَّس يهدف إلى الوصول إلى اتحاد من نوع ما مع الرب.

الجزء الثاني

الانطلاق

الفصل السابع

كونٌ شمسيُّ المركزِ لكنه مُحكَم

قبل ثلاث سنوات من موت ليوناردو في عام ١٥١٩، وُلِد جيورج يواخيم إيزورين في مدينة فيلدكيرخ فيما يُعَد الآن النمسا. كان والده طبيبًا ميسورَ الحال يمتلك مكتبةً ممتازة، وأرسل ابنه إلى مدرسة القواعد اللغوية المحليَّة حيث تعلَّم اللاتينية والفنون الحرة المتمثلة في النحو والبلاغة والمنطق. وحين كان جيورج لا يزال في الرابعة عشرة من عمره، حُوكِم والدُه بتهم السرقة والاختلاس وممارسة السحر. وأُدين بذلك وحُكِم عليه بالموت. فمُحيَ اسم عائلته من الوجود؛ لذا عادت أم جيورج إلى اسمها الإيطالي قبل زواجها، وهو توماسينا دي بوريس (وكلمة بوريس تعني الكراث). فأصبح اسم جيورج هو جيورج يواخيم دي بوريس، لكن وحيث لم يكن الصبي يَعُدُّ نفسه إيطاليًّا، ترجم اسمه إلى الألمانية فأصبح جيورج يواخيم فون لاوخين. وأضاف لاحقًا اسم ريتيكوس تيمنًا بمقاطعة رايتيا التابعة للإمبراطورية الرومانية التي وُلِد فيها. وهو يُعرف في عصرنا هذا باسم ريتيكوس.

كانت أمُّ ريتيكوس ثريةً وتتمتع بمعارفَ ذوي نفوذ؛ لذا أكمل الصبي تعليمَه تحت وصاية صديق لإيرازموس اسمه أوزوالد مايكونيوس. عاد ريتيكوس في خريف عام ١٥٣١ إلى فيلدكيرخ حيث كوَّن صداقة مديدة مع الطبيب الذي تولَّى مزاولةَ مهنة أبيه، واسمه أخيل جاسر. وإلى جانب كونه طبيب المدينة، كان جاسر إنسانويًّا شهيرًا له اهتمامات في التاريخ والرياضيات وعلم الفلك والتنجيم والفلسفة.

في عام ١٥٣٣، ارتحل ريتيكوس — وكان حين ذلك في عمر التاسعة عشرة ومتسلِّحًا بخطاباتِ تقديم من جاسر — مسافة ٤٠٠ ميل في الاتجاه الشمالي الشرقي إلى مدينة فيتنبرج؛ حيث كان مارتن لوثر يترأس كرسيَّ اللاهوت في جامعتها. قبل ذلك بعَقد من الزمن، كان لوثر، ذلك الراهب اليافع المتقد الحماسة، قد جعل من نفسه أكثرَ الأعضاء المؤثِّرين في البروتستانتية الألمانية، وذلك من خلال استخدام منبره في إدانة ثورة الفلاحين

الألمان عام ١٥٢٤، وذلك على أساسٍ إنجيلي من نصيحة المسيح التي تقول: «أعطوا ما لقيصر لقيصر، وما لله لله».[١] وقد قُمِعت الثورة بوحشية فقُتل ما يربو على ١٠٠ ألف من الفلاحين المسلحين تسليحًا هزيلًا. وقد حوَّل هذا مسارَ شهرة لوثر من متمرِّد ثائر إلى أحد أعمدة البروتستانتية الألمانية.

اجتاحت بسرعة أطيافٌ عديدة من البروتستانتية اللوثرية أرجاءَ ألمانيا وانتقلت إلى سويسرا وفرنسا والبلدان النوردية، وذلك قبل أن تعبُر القناةَ الإنجليزية نحو إنجلترا. بعدئذٍ، انقسمت القارة الأوروبية على طول محور قسمِها شمالًا وجنوبًا، فكانت الدول الألمانية اللوثرية على نحوٍ غالب في الشمال والدول الكاثوليكية المتأثرة بالمنهج الإنسانوي مثل إسبانيا وفرنسا وإيطاليا في الجنوب. انعكس هذا الانقسام في خلافٍ فلسفي عن طبيعة الإرادة البشرية. إذ وضع الإنسانويون الإرادةَ البشرية موضعَ المركز من طبيعة البشر، مسترشدين في ذلك بالإبداع البشري. ففي عمله «عن حرية الإرادة» الذي نُشِر عام ١٥٢٤، كان إيرازموس قد دفع بأن البشر يملكون إرادةً حرة كعطية ربانية، وذلك رغم طلاقة القدرة الإلهية. لم يكن لوثر مقتنعًا بذلك، فردَّ على ذلك في عام ١٥٢٥ — أي قبل أن يصل ريتيكوس إلى فيتنبرج بتسع سنوات — بأحد أكثر النصوص تأثيرًا في حركة الإصلاح. ففي عمله «عن عبودية الإرادة» أعاد لوثر التأكيدَ أن البشَر أسرى الإرادة الإلهية، فكتب يقول: «الرب … لا يعرف حدودًا فقدرته مطْلقة»، وأضاف أن أي أحد يعتقد في غير ذلك ليس بمسيحي.

هاجم الكثيرون من أتباع لوثر فكرةَ أن يكون التعليم بخلاف دراسة الكتاب المقدَّس، الذي كانوا يثقون ثقةً مطْلقة في كونه السبيلَ الوحيد للنجاة من نار الجحيم. لكن لم يكن لوثر نفسه من المتزمِّتين. إذ عيَّن عام ١٥١٨ عالمًا إنسانويًّا ألمانيًّا بارزًا اسمه فيليب ملانشتون رئيسًا لكرسي اللغة اللاتينية في جامعة فيتنبرج. أصبح ملانشتون أكثرَ الأتباع والمستشارين الذين كان لوثر يثق فيهم والذي قابل طباعَ معلِّمه الحادةَ ولغته الفظَّة بأسلوب هادئ ورغبة في الإقناع وليس الترهيب. وساعد تأثيره في تلطيف حدةِ البروتستانتية الألمانية بحيث طوَّرت رحابة صدر إنسانوية تجاه التعلُّم خارج حدود مجال اللاهوت واهتمامًا بالعالم يتجاوز حدودَ الكتاب المقدَّس، وذلك على الرغم من أنها حافظت على رؤية لوثر الكئيبة تجاه الجبرية، وأكَّدت الأهميةَ المحورية للنصوص المقدَّسة.

رحَّب ملانشتون بريتيكوس الشاب في الأوساط الفكرية التي تنزِع نحو الإنسانوية والتي كان قد أسَّسها في فيتنبرج، وفي عام ١٥٣٦، عيَّنه ملانشتون لتدريس الرياضيات

والفلك. بحلول ذلك الوقت، كانت هناك إشاعات تكتسح جامعات أوروبا عن نموذج للكون هو جديد بشكل جذري تتحرَّك فيه الأرض دائريًّا حول الشمس. وقد تعامل معظم زملاء ريتيكوس في فيتنبرج مع تلك التقارير بمزيجٍ من التكذيب والسخرية والهزل، لكن ريتيكوس أبدى لذلك حماسةً واهتمامًا.

الأرض تتحرَّك في رأي عالِم الفلك الصوفي

وُلِد كوبرنيكوس عام ١٤٧٣ — أي قبل ريتيكوس بواحد وأربعين سنة — في مدينة تورون بمنطقة فارميا فيما هو الآن شمال بولندا، وارتاد جامعة كراكوف؛ حيث تلقَّى التعليم المدرسي القياسي في الفنون الحرة السبعة، بما يتضمَّنه من تركيز على أرسطو وشارحي أعماله من العرب والمسيحيِّين. هناك تعلَّم كوبرنيكوس نموذجَ أرسطو الفيزيائي للكون، بالإضافة إلى النموذج المركزي الأرض لبطليموس والأنظمة الرياضية المستخدَمة في حساب حركات الأجرام السماوية. كان هذا يمثِّل أيضًا ذروةَ ما وصل إليه «المذهب الجديد» في الجامعات الأوروبية، بما فيها جامعة كراكوف.[1] وطبقًا لما ورد عن المؤرِّخ البولندي فلاديسلاف تاتاركيفيتش، «كان هناك أتباعٌ لـ «المذهب الجديد» في كراكوف منذ البداية. وبمزيد من التحديد، ساد المذهب الاسماني في الفيزياء والمنطق وعلم الأخلاق هنا في ظل التأثير المهيمِن لجان بوريدان». لذا ليس هناك شكٌّ أن كوبرنيكوس تعرَّض لأفكار ويليام الأوكامي وشفرتِه وأتباعِه حين كان في كراكوف.

في عام ١٤٩٦، أي حين كان ابن الثالثة والعشرين، غادر كوبرنيكوس كراكوف من دون أن يتخرَّج في جامعتها، فسافر إلى إيطاليا ليدرس القانون الكنسي في أعرقِ جامعات إيطاليا في بولونيا؛ حيث كان العالِم الأوكامي أليساندرو أكيليني (١٤٦٣–١٥١٢) أستاذًا للفلسفة والطب. قبل ذلك بعامين، كان أحد الأوكاميِّين وهو ماركوس دي بينيفنتو قد نشر شرح ويليام الأوكامي لكتاب أرسطو «الطبيعة» في بولونيا، وأهدى تلك الطبعة لأكيليني. وبعد ذلك نشر دي بينيفنتو ثلاثة أعمال أخرى لويليام الأوكامي في بولونيا، كان آخرها كتابه «خلاصة المنطق» عام ١٤٩٨،[2] وهو العام نفسه الذي وصل فيه كوبرنيكوس إلى المدينة. في ذلك العام نفسه، نشر دي بينيفنتو مجموعةً من أعمال العالِم الاسماني ألبرت الساكسوني «تكريمًا للأخ ويليام الأوكامي». كان من الواضح أن بولونيا تعجُّ بأعمال ويليام الأوكامي وبعلماء يتبنَّون «المذهب الجديد» في أثناء تلقي كوبرنيكوس العلمَ فيها.

ورغم أنه أتى إلى بولونيا ليَدرس فيها القانون الكنَسي، فيبدو أن اهتماماته تحوَّلت هناك على نحو حاسم تجاه علم الفلك؛ الأمر الذي أدَّى به حتى إلى إجراء بعض ملاحظاته الفلكية الأولى فيها. وبعد فترة وجيزة قضاها في فارميا، عاد كوبرنيكوس إلى إيطاليا عام ١٥٠١، لكن هذه المرة إلى جامعة بادوفا ليدرس الطب. في ذلك الوقت، كان مركز الحياة الفكرية الأوروبية قد تحوَّل من أكسفورد وباريس إلى إيطاليا في أثناء عصر النهضة، خاصة بادوفا. على الأرجح أن كوبرنيكوس أصبح وهو في بادوفا مفتونًا بما كان يسود فيها من صوفيةٍ وتركيز على العلوم الإغريقية وفلسفة الأفلاطونية المحدَثة، وهي المجالات التي هيمنت على حياته الفكرية فيما بعد.

في نهاية المطاف عاد كوبرنيكوس إلى فارميا ليضطلعَ بدور الراهب في فراونبيرج (والتي هي الآن فرومبورك في بولندا) في وقتٍ ما عام ١٥٠٣، حين كان في الثلاثين من عمره. ولا يبدو أن مسئولياته كانت مرهقة كثيرًا حيث استأنف كوبرنيكوس اهتماماتِه الهلنستية، فكان يترجِم الشعرَ الإغريقي إلى اللاتينية. كما حاول تطبيقَ مبادئ المذهب الإنسانوي على أكبرِ اهتماماته الأخرى وهو علم الفلك، خاصة النظامَ البطلمي، لكنه واجه مشكلةً في ذلك. فبدلًا من المثالية الخاصة بالأفلاطونية المحدَثة التي كان يتوقَّع أن يجدها في السماء، وجد كوبرنيكوس غابةً من أفلاك التدوير ونقاط معدل المسار وأفلاك الحَمل. فكتب لاحقًا يقول:

> كنت مكرَهًا على النظر في نظامٍ مختلِف لحساب حركات الأفلاك الكونية ليس لسببٍ آخر عدا إدراك أن تجربة … الفلكي كانت كتجربة شخص يجمع من مناطقَ متفرِّقة يدَين وقدمين ورأسًا وأجزاءً أخرى [ليصنع] وحشًا وليس بشرًا … منها.

الإشارة إلى أجزاء من الجسد البشري هنا مثيرةٌ للاهتمام. إذ كان حديثه هذا بعد مرور نحو ١٥ عامًا من رسم ليوناردو دا فينتشي لوحتَه الشهيرة «الرجل الفيتروفي». على الأرجح أن ليوناردو استلهم تلك اللوحةَ من إعلان الإنسانوي مارسيليو فيتشينو بأن «الإنسان هو أمثل الحيوانات … وهو قريب من أمثل الكيانات؛ أي الكيانات الإلهية».[3] ويبدو هنا أن كوبرنيكوس يعارض منظومةَ بطليموس الفلكية الغريبة بالحلم الإنسانوي الذي عُبِّر عنه في لوحة ليوناردو بكونٍ منظَّم رياضيًّا في مركزه إنسان أشبه بالإله. وأصبح كوبرنيكوس مؤمنًا أن باستطاعته — بمساعدة الرياضيات — أن يعيد تجميعَ الأشياء ليكشفَ عن

سماءٍ أكثرَ تناغمًا. فكتب يقول: «بعد أن أصبحت مدركًا أوجهَ الخلل هذه، كثيرًا ما فكَّرت إن كان … بالإمكان إصلاحها ببنًى أقلَّ وأبسط من تلك التي كانت مستخدمة قبلًا».

سمح كوبرنيكوس لنفسه أن ترشده شفرة أوكام مثلما فعل سابقوه من أتباع «المذهب الجديد». وعن مبدأ الراصد النسبي الذي كان ويليام الأوكامي قد أشار إليه، حاجج كوبرنيكوس أن قبول أن الأرض تدور كل يوم وليس الشمس أو القمر أو الكواكب أو النجوم يُنتِج كونًا أكثرَ بساطة بكثير.

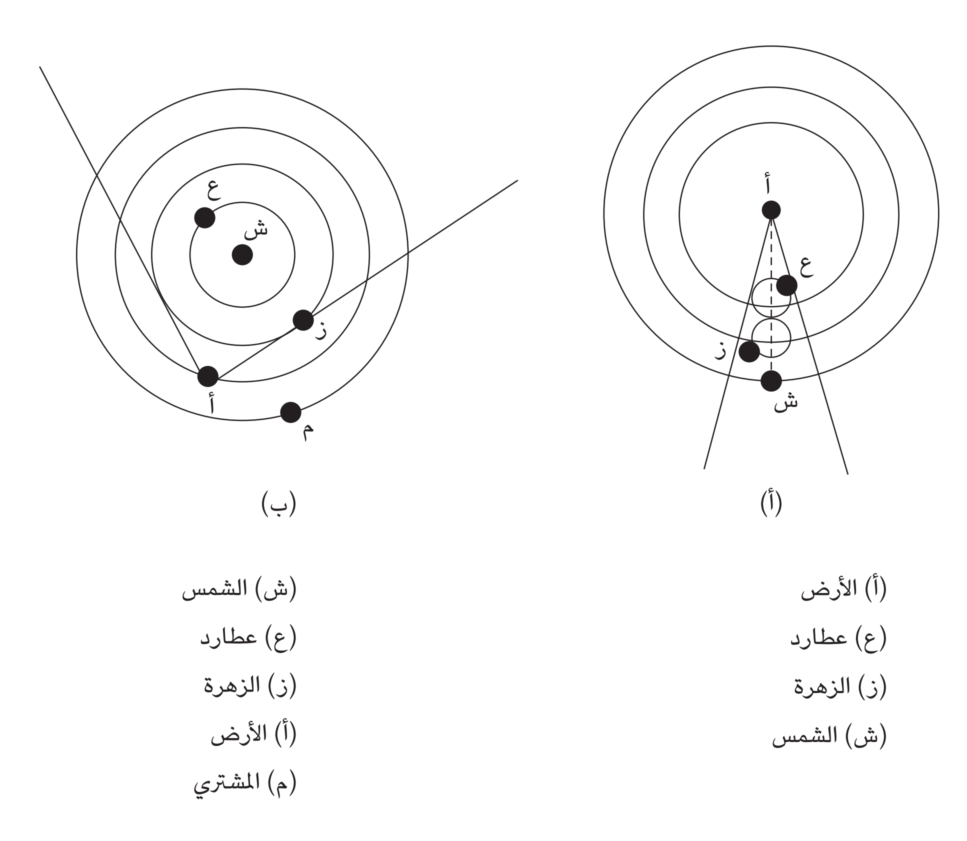
جعل العالَم أقلَّ اعتباطية

غالبًا ما يؤدِّي التبسيط إلى إثابات غير متوقَّعة. فالسماح للأرض بالدوران من أجل تثبيت النجوم قدَّم لكوبرنيكوس إثابة وهي استبعاد خمسة من أفلاك التدوير الكوكبية من نموذج بطليموس. بشكل أساسي (لكن بدون دراية بالطبع) كانت تلك الأفلاك تصحِّح ثبات الأرض في نموذج بطليموس، وذلك عن طريق النقل النسبي للدوران الأرضي إلى أفلاك التدوير الكوكبية البطلمية. أحد الإثابات الأخرى كانت الوضوح. فمن خلال نموذجٍ أقل فوضوية، تمكَّن كوبرنيكوس من رؤية طريقة لإزالة المزيد من أفلاك التدوير، وذلك من خلال خطوته الثانية والأكثر ثورية والتي تتمثل في نقل مركز المنظومة من الأرض إلى الشمس.

لم يكن كوبرنيكوس هو أول مَن يضع الشمس في مركز الكون من العلماء. فحوالي عام ٢٥٠ قبل الميلاد، قدَّم أرسطرخس الساموسي منظومةً مركزها الشمس، لكن الفكرة لم تحظَ بالتقدير في العصور القديمة حيث كانت تتعارض مع تأكيد أرسطو أن كل الأجسام الثقيلة بما فيها الكواكب إما أنها تسقط نحو مركز الأرض أو تدور حوله. لكن تجرَّأ كوبرنيكوس مدعومًا بسلطة واحد على الأقل من القدماء على العودة للتأكيد على وجود الشمس في مركز كل الأجرام السماوية. وذُهِل حين اكتشف أن تلك الخطوة قدَّمت «تناسقًا بديعًا في الكون، وعلاقة متناغمة وراسخة بين حركات الأجرام وأحجامها، بحيث لا يمكننا أن نجد مثل ذلك بأي طريقة أخرى».[4]

هنا، اكتشف كوبرنيكوس بمحض الصدفة جانبًا عظيمَ الأهمية من جوانب عملية التبسيط الناجحة لأي منظومة: ألا وهو استبعاد سماتها الاعتباطية. لم يكن باستطاعة نموذج بطليموس القائم على مركزية الأرض أن يفسِّر سببَ رؤية كوكبي عطارد والزهرة أقرب دائمًا إلى الشمس لدى شروقها وغروبها. وقد فسَّر بطليموس هذه الملاحظة بأن

أضاف مبدأً اعتباطيًّا لنموذجه: وهو مصادفة دوران عطارد والزهرة حول الأرض (في فلكيهما الخاصَّين) فيما يظلان على مقربةٍ من مدار الشمس (انظر الشكل ٧-١أ).



شكل ٧-١: منظور الكواكب من الأرض في نظام أرضي المركز (أ) أو شمسي المركز (ب).

لكن حين حوَّل كوبرنيكوس الشمسَ إلى مركز دوران الكواكب، أصبح حرًّا في تحريك كوكبي الزهرة وعطارد إلى موضعٍ بين الشمس والأرض بحيث يصبحان كوكبَين داخليَّين. وفي هذا الموضع، يعود سبب قربهما من الشمس في السماء ببساطة إلى قربهما من الشمس في الواقع (انظر الشكل ٧-١ب). بهذا الشكل، أصبحت سمة اعتباطية في النموذج المعقَّد نتيجة حتمية لبديله البسيط.

إثابة أخرى غير متوقَّعة لنظام كوبرنيكوس الشمسي المركز كانت أن النموذج قدَّم أخيرًا تفسيرًا منطقيًّا للحركة الرجعية لكواكب المريخ والمشتري وزحل. تتحرَّك هذه الكواكب على نحوٍ طبيعي من الشرق إلى الغرب في السماء، إلى جانب الشمس والنجوم، إلا أنها أحيانًا تعكس حركتها فتتحرَّك من الغرب إلى الشرق أسابيعَ كثيرة قبل أن تلتفَّ وتتجه شرقًا ثانية (ارجع إلى الشكل ١-٢). لاحظ كوبرنيكوس أن النجوم السيَّارة التي تؤدِّي هذه الحركة كانت جميعها — في نظامه الشمسي المركز — كواكبَ خارجية أبعدَ عن الشمس من الأرض. كان بطليموس قد دمج الحركةَ الرجعية لتلك الكواكب بأن قدَّم أفلاك تدوير إضافية مبرِّرها الوحيد هو جعل نموذجه مناسبًا للبيانات المتاحة. لكن حين تكون الشمس في مركز النموذج، تختفي هذه الأفلاك حيث يصبح اختفاؤها نتيجةً حتمية لِلحاق الأرض بكوكب خارجي في مداره ثم تجاوزه. نجد نحن شيئًا مماثلًا حين نمرُّ بمركبة تتحرَّك ببطء على الطريق السريع. حين تكون المركبة أمامنا، تبدو كأنها تتحرَّك عكس البيئة المحيطة بها وفي الاتجاه الأمامي نفسه الذي نتحرك نحن فيه. لكن، حين نمرُّ بتلك المركبة ستبدو في البداية كأنها تحوِّل اتجاهها لتتحرَّك نحو الخلف في مقابل الخلفية، حتى نمرَّ بها وننظر إليها في مرآة الرؤية الخلفية، هنا ستبدو كأنها تتحرَّك للأمام مرة أخرى. والحركة الرجعية في السماء هي من نوعية الخداع البصري نفسه كهذا المثال، لكننا نراه من الأرض حين تجتاز الأرض كوكبًا خارجيًّا سرعة دورانه أبطأ، مثل كوكب المريخ. هنا تحوَّلت سمة اعتباطية أخرى في النموذج المعقَّد إلى نتيجة ضرورية لبديله الأبسط.

بهذه النجاحات، كان بإمكان كوبرنيكوس أن يقدِّم نموذجًا أكثرَ بساطة بكثير عن الكون لو كان قد توقَّف عند هذا الحد. لكن للأسف، لم يستبعد نموذج مركزية الشمس نقطةَ معدَّل المسار المزعجة التي حثَّته على البحث عن نموذج كوني جديد. ولكي يستبعد كوبرنيكوس تلك النقطة في حين يحافظ في الوقت نفسه على المدارات الدائرية، كان عليه أن يعود إلى حيلة بطليموس في تقديم عدة أفلاك تدوير جديدة، فأعاد بذلك الكثير من التعقيد الذي كان النظام المركزي الشمس قد أقصاه.

رغم هذه الانتكاسة، أرسل كوبرنيكوس عام ١٥١٤ — وهو عام ولادة ريتيكوس — أطروحةً فلكيَّة قصيرة عنوانها «شروحات قصيرة» لمجموعة مختارة من الباحثين والعلماء الأوروبيِّين. نتج عن ورقته تلك موجةٌ من الفضول وصلت حتى إلى روما حيث نالت استقبالًا إيجابيًّا. وفي عام ١٥١٧، تلقَّى كوبرنيكوس خطابًا من سكرتير البابا، الكاردينال

نيكولاس شونبيرج، يحثُّ فيه كوبرنيكوس على «نشر اكتشافك في المجتمع العلمي». في البداية بدا أن كوبرنيكوس قد أخذ نصيحةَ الكاردينال على محملِ الجِد حيث بدأ العمل على وصف مستفيض لنموذجه مركزي الشمس في عمله «عن دورات الأجرام السماوية». إلا أنه لم يحاول أبدًا نشرَ مخطوطته ولم يسمح لأحد كذلك، على قدرِ علمنا، بقراءتها.

الأرض لا تحرِّك لوثر

في العقود التي تلت ذلك، لقيت أطروحة كوبرنيكوس التي تصِف نموذجَه الكوني المركزي الشمس تجاهلًا وسخرية في الغالب؛ لكنها انتشرت على نطاق واسع، فوصلت حتى إلى مركز العالم اللوثري في فيتنبرج. وفي تعليق شائن من جانب مارتن لوثر بعد عشاءٍ ما قال: «ذلك الأحمق الذي يريد أن يقلبَ علمَ الفلك كلَّه رأسًا على عقب. صدَّقوا النصوص المقدَّسة حتى في تلك الأشياء التي تؤدي إلى الفوضى، ذلك أن يشوع أمرَ الشمس أن تقف ساكنة وليس الأرض».[5]

على الرغم من ازدراء لوثر وسخريته، شعر ريتيكوس بالفضول وطلب الإذنَ في زيارة الكاهن العجوز في بولندا الكاثوليكية. ويبدو أن منْح ملانشتون العالِم الشابِّ الإذنَ لزيارة كوبرنيكوس كان أمرًا بعيدَ الاحتمال، لكن مزحة منسوبة لأحد العلماء وضع ريتيكوس في موضعٍ يحتمل أن يكون خَطِرًا، وذلك حوالي عام ١٥٣٨. إذ كتب سيمون ليمنيوس — وهو عضو في دائرة الإنسانويين في فيتنبرج والتي كانت تشتمل الآن على ريتيكوس — سلسلةً من أبيات الشعر الساخرة والشهوانية بأسلوب الشاعر الروماني أوفيد والتي تَعرِض للوثر. بل إنه باع حتى مختاراتٍ منها أمام باب كنيسة فيتنبرج الذي علَّق عليه لوثر عمله «الأطروحات الخمس والتسعون» قبل عشرين عامًا، وذلك كما تقول الأسطورة.

وحيث لم يكن معروفًا عنه أنه ذو حسٍّ فكاهي، ردَّ لوثر على ذلك بأن اتهم الشاعرَ بالقذف والتشهير، ما دفع ليمنيوس للهروب من المدينة. وفي يوم الأحد التالي لذلك، وعظ لوثر بخطبةٍ فحواها تحذير للكاتب أنه على وشْك أن يفقد حياته. وفي شهر سبتمبر من ذلك العام، نظَم لوثر قصيدتَه التي بعنوان «هجوم على ليمي الشاعر البذيء».[6] ومن المنفى ردَّ ليمنيوس بقصيدة أخرى تشمل على البيتين التاليَين:

> كنت من قبلُ تتقيأ الجنونَ من فمك الأعوج
> والآن تُنفِّس عن غضبِك من مؤخِّرتك.

كما نشر أيضًا اعتذارًا أكثرَ تحفُّظًا زعم فيه أنه يقدِّم العناصر الأكثر اعتدالًا للبروتستانتية الألمانية، مستشهدًا بكلٍّ من ملانشتون وريتيكوس كمؤيدَين وحليفَين له. كان ملانشتون قويًّا بما يكفي ليزيل عن نفسه أيَّ اتهام بالارتباط بليمنيوس، لكن ريتيكوس كان عرضةً لأن يصبح كبشَ فداء لغضبة لوثر. ربما مع أخذ هذا الخطر في الاعتبار منح ملانشتون ريتيكوس الإذنَ في أكتوبر من عام ١٥٣٨ ليغادر فيتنبرج ليزور «ذلك الأحمق الذي يريد أن يقلبَ علم الفلك رأسًا على عقِب».

وقد تأنَّى ريتيكوس في زيارته. إذ زار في البداية الكثيرَ من أبرز علماء الفلك في أوروبا، قبل أن يتحوَّل إلى مدينته الأم فيلدكيرخ ليقدِّم نسخةً مطبوعة من كتاب ساكروبوسكو الفلكي الذي بعنوان «كرة العالم» لمعلِّمه أخيل جاسر. في نهاية المطاف حلَّ على بلدة فراونبيرج في شهر مايو لعام ١٥٣٩. ولم يكن ما رآه مثيرًا للإعجاب. إذ كانت بلدةً متداعية تقع على الحافةِ الجنوبية للبحيرة حيث يصبُّ نهر فيستولا في بحر البلطيق، وكان مفخرةُ البلدةِ ميناءً صغيرًا يُرسي فيه الصيادون قواربَ مسطحة القاع يصطادون بها سمك الأنكليس من البحيرة. وفوق البلدة كانت تظهر كاتدرائيتها الهائلة القبيحة المنظر بعض الشيء والمبنيَّة من الطوب الأحمر. وصَف كوبرنيكوس هذه البلدةَ بأنها «أنأى زوايا العالم». بحلول ذلك الوقت، كان الراهب يتكتَّم على فرضيته الثورية القائمة على مركزية الشمس لأكثر من ثلاثين عامًا.

كيف تكون مصيبًا وأنت مخطئ؟

إلى جانب حماسته لفكرة مركزية الشمس، أحضر ريتيكوس معه هدايا من كتبِ الرياضيات والفلك، منها نسخةٌ حديثة الطباعة من كتاب بطليموس «العناصر». سُرَّ كوبرنيكوس لذلك. فبعد سنوات طوالٍ من كونه أكاديميًّا مغمورًا، أصبح لديه أخيرًا تلميذ. كان العالِم الشاب قد خطَّط لأن يمكث أسابيعَ قليلة فقط، لكنه سرعان ما أصبح مخلصًا لكوبرنيكوس العجوز — الذي كان يدعوه دائمًا بـ «معلِّمي» — حتى إنه مكث سنتين، يساعده في مراجعة وتحرير كتابه المهم عن النظام المركزي الشمس.

ومع ذلك، لم يوافق كوبرنيكوس إلا على أن يكتب ريتيكوس رؤيتَه الخاصة عن كتابه الذي لم ينشر، الذي كان بعنوان «عن دورات الأجرام السماوية». أصبح ذلك الكتاب بعنوان «التقرير الأول»، وهو يصِف المؤلِّف بأنه «شاب بالغ الحماسة تجاه الرياضيات»

ويُشار إلى كوبرنيكوس فيه بـ «المعلِّم» أو «العلَّامة الدكتور نيكولاس من تورون». بعدها ذهب ريتيكوس غيرَ خائف إلى مدينة دانتسيج ليجد ناشرًا.

نُشِر كتاب «التقرير الأول» عام ١٥٤٠. وأرسل ريتيكوس نُسخًا منه لكل شخصٍ ذي تأثير يعرفه، بمن فيهم الفلكي يوهانس شونر ومعلِّمه في فيلدكيرخ أخيل جاسر. مرَّر شونر نسخةً إلى الناشر يوهانس بيتريوس في نورنبيرج، الذي ردَّ بتشديده على أنه «وجد الكتاب كنزًا عظيمًا»، وحثَّ كوبرنيكوس على نشرِ عمله كاملًا. أخيرًا أقنع الاستقبال الإيجابي للكتاب الراهبَ المتحفِّظ بأن ينشر كتابه «عن دورات الأجرام السماوية».

عاد ريتيكوس إلى فيتنبرج ليستكمل محاضراته، لكنه وجد ما يكفي من الوقت ليضغط على الناشرين والقوى السياسية دعمًا لمطمحه بأن يُنشر كتاب كوبرنيكوس. وفي عام ١٥٤١، عاد ريتيكوس إلى فراونبيرج حيث نسخ كتاب كوبرنيكوس وحرَّره. وفي ربيع عام ١٥٤٢، انطلق ريتيكوس إلى دار بيتريوس للنشر في نورنبيرج وبجَعبته الكتابُ الثمين. لكن بحلول ذلك الوقت، كان ريتيكوس قد عُيِّن في منصب جديد في جامعة لايبنتس، وتعيَّن عليه أن يذهب إلى هناك ليلقي محاضراته. وعهِد بمهمة الإشراف على الطباعة إلى الرياضي واللاهوتي اللوثري النورنبيرجي أندرياس أوزيندر.

المقدِّمة الشائنة

نُشِر كتاب «عن دورات الأجرام السماوية» أخيرًا في عام ١٥٤٣. يصِف الكتاب كون كوبرنيكوس المبني على مركزية الشمس بعنصره الإبداعي الرئيسي المتمثِّل في السماح للأرض بالحركة؛ إذ تدور حول محورها كلَّ يوم وتدور حول الشمس كل عام. الأمر الأكثر أهمية من ذلك أن درجة الأرض انخفضت من موضعها المميَّز كمركز الكون لتصبح مجرد كوكب هو الثالث من بين ستة كواكب تدور حول الشمس. لم يَعُد العالَم الأرضي متميِّزًا.

مع ذلك وفيما يُرى عامةً أنه أحد أكبر الفضائح في تاريخ العلوم، أُضيفت مقدِّمة مجهولة المصدر إلى كتاب كوبرنيكوس موجَّهة «إلى القارئ فيما يخص فرضيات هذا العمل». تبدأ المقدِّمة بذكر أن الأفكار الواردة في الكتاب ينبغي ألا تؤخذ على محمل الجد جدًّا: «ذلك أن هذه الفرضيات يجب ألا تكون صحيحةً أو حتى محتملة. على النقيض، إن كانت تقدِّم حسابات تتناسب مع الملاحظات، فإن هذا وحدَه كافٍ». بصيغة أخرى، كانت أطروحة كوبرنيكوس مجرَّد مثال آخر على «هندسة السماء»، ولا يُزعم أنها تمُت للواقع

بأكثر مما تمُت أفلاك التدوير لدى بطليموس به. ويختتِم كاتب المقدمة بتقييمه الذي يقول فيه: «بقدرِ ما يخص الفرضيات، فلا يتوقعنَّ أحدٌ أي شيء مؤكَّد من علم الفلك؛ إذ إنه ليس قادرًا على ذلك، خشيةَ أن يقبل بأفكارٍ صُمِّمت لغرض آخر على أنها حقائق، ومِن ثَم يخرج من هذه الدراسة أكثرَ حماقة مما كان عليه حين دخل. وداعًا».

هُرِع بنسخة من دفعة الطبعة الأولى للكتاب إلى غرفة الراهب كوبرنيكوس. وقد مات في اليوم نفسه، يوم ٢٤ من شهر مايو لعام ١٥٤٣، ويُقال إن موته تعجَّل بقراءته لهذه المقدِّمة الشائنة. ظلَّ مؤلِّف هذه المقدمة مجهولًا لسنوات عديدة. وكان يوهانس كيبلر هو مَن أزاح الستار لاحقًا عن الحقيقة، والتي تتمثل في أنها كُتبت بيد أندرياس أوزيندر.

عادة ما يُرى أن نشر كتاب «عن دورات الأجرام السماوية» علامةٌ فارقة في تاريخ العلم، بل حتى أذان بميلاد العلم الحديث. إن كان هذا صحيحًا، فبالكاد لاحظ أحد ذلك. إذ لم تنفَد الطبعة الأولى البالغ عددها ٤٠٠ نسخة، ولم تُطبع طبعة ثانية إلا بعد مرور أكثر من عشرين عامًا. وعلى قدرِ ما يبلغ علمنا، لم يتبنَّ أحد من الفلكيِّين البارزين منظومة كوبرنيكوس؛ إذ فضَّلوا على ذلك الطرقَ البطلمية المجرَّبة والمختبرة. على نحوٍ حاسم، لم تكن أطروحة كوبرنيكوس قادرةً على ذِكر أي دليل على نظامه القائم على مركزيَّة الشمس، ولم تكن أكثرَ دقة في الإتيان بتنبؤات فلكية من نظام بطليموس مركزي الأرض. فكلٌّ منهما قدَّم دقة تنبؤ تصل إلى درجة قوسية واحدة.[٢]

لكنك ستتذكَّر أن كوبرنيكوس لم يضَع الشمس في مركز منظومته ليصنع تنبؤاتٍ أكثرَ دقة. فعوضًا عن ذلك، كان اشمئزازه من التعقيد البيزنطي للنموذج البطلمي هو ما حفَّزه للبحث عن نظام «ببنًى أقلَّ وأبسط من تلك التي كانت مستخدَمة قَبلًا». فهل نجح في تحقيق هدفه وهو إنشاء نموذج بسيط أكثر؟ على أساس عدد الدوائر البسيطة، لم يفعل. فالتَّعداد النهائي للدوائر في كلا المنظومتين ليس مباشرًا؛ حيث لم تقدِّم كلتاهما نموذجًا شاملًا لهما، بل فقط مخططات لأجزاء منهما وصيغٍ لحساب مواقع الكواكب. لكن تتفق الآراء على أن كلتا المنظومتين تحتويان على عدد من الدوائر بين ٢٠ و٨٠، اعتمادًا على ما يُعدُّ كدائرة.[7]

ومع ذلك، وبغض النظر عن تشابُه تَعداد الدوائر بينهما، كان كوبرنيكوس مقتنعًا بأن نظامه كان منطقيًّا أكثر من نظام بطليموس؛ لأنه كان أبسط. وفي كتابه «عن دورات الأجرام السماوية» كتب كوبرنيكوس يقول: «أعتقد أن علينا قبولَ هذا، بدلًا من تشويش عقولنا بعدد من الأفلاك يكاد يكون لا نهائيًّا، كما فعل أولئك الذين جعلوا الأرض في مركز

الكون». ويكمِل كوبرنيكوس فيحاجج قائلًا: «على النقيض، ينبغي لنا أن ننتبه إلى حكمة الطبيعة. فتمامًا كما تتفادى الطبيعة وجودَ شيء لا جدوى له أو غير ذي فائدة، فإنها أيضًا وباستمرار تفضِّل أن تهَب شيئًا واحدًا الكثيرَ من النتائج».[8] لكن وبشكل حاسم، فإن تشديد كوبرنيكوس على عنصر البساطة في كتابه ليس مبنيًّا على عدد الدوائر. إذ يذكر عوضًا عن ذلك سماتِ نموذجه التي استبعدت التعقيدات الاعتباطية لنموذج بطليموس. تشتمل تلك على استبعاد الدورات اليومية الأرضية في مدارات الأجسام السماوية، وإزالة الدورات اللازمة لتبرير الحركة الرجعية، ووضع ترتيب واضح للكواكب. طبقًا لأوين جنجريتش، أستاذ الفلك وتاريخ العلم في جامعة هارفرد، كانت تلك السمات وليس عدد الدوائر هو ما أقنع كوبرنيكوس بأن مركزية الشمس تقدِّم «رؤيةً كونية جديدة، وتصورًا جماليًّا أروع لبنية الكون».[9] لقد أتت ثقةُ كوبرنيكوس في البساطة بمردود كبير. وبوجود شفرة أوكام في متناول اليد، أمكن حتى للمتصوفين أمثال كوبرنيكوس أن يجدوا طريقًا نحو العلم الحديث.

هوامش

(١) إنجيل متَّى ٢٢: ٢١.

(٢) هي مسافة انفصال زاوية في السماء تعادل تقريبًا ثخانة إصبعك الصغير إذا ما وضعته في موضعٍ بعيد عنك بقدرِ ما يمكنك.

الفصل الثامن

تقسيم الدوائر

كانت منظومة كوبرنيكوس تحتوي على المركز الصحيح، إلا أنها كانت فوضوية. وعلاوة على ذلك، كانت لا تزال تلك الدوائر البلورية معلَّقة في السماء وتجعل الكون محدودًا، محصورًا بالدائرة السماوية الخارجية الأبعد.

عملُ براهي

وُلِد تايكو براهي (١٥٤٦–١٦٠١) بعد ثلاث سنوات من موت كوبرنيكوس في كنوتستورب بالدنمارك لاثنين من أعضاء الطبقة النبيلة الدنماركية ونخبة مجلس المملكة. سُلِب الطفل الصغير من والديه على يد عمه يورجن الأكثر ثراءً وقوة، على أساس أنه وزوجته كانا لا ينجبان. لذا أمضى تايكو طفولته في مقعد أسلاف عمِّه في قلعة العائلة في توستيروب بشمال الدنمارك. وذهب بعد ذلك ليدرُس في جامعة كوبنهاجن، التي كانت تقع في ذلك الوقت تحت هيمنة إنسانوية ملانشتون، خاصة تشديدَه على تعليم العلوم إلى جانب اللاهوت والنصوص المقدَّسة. وبينما كان براهي في كوبنهاجن، تحوَّلت اهتماماته نحو دراسة الرياضيات والفلك والتنجيم. إذ عجِبَ كثيرًا لقدرة هندسة السماء البطلمية القائمة على مركزية الأرض على توقُّع حدوث كسوف للشمس كان قد لاحظه هو بنفسه عام ١٥٦٠؛ لكنه وجد أن من المزعج أن يكون التنبؤ متأخرًا بيوم.[1] وأدرك براهي أن هذا التضارب لا بد أنه نتيجة خطأ إما في نموذج بطليموس أو في ملاحظاته الفلكية. وحيث كان يفتقر إلى المهارات الرياضية التي تمكِّنه من التعاطي مع هندسة نموذج بطليموس، صمَّم براهي على تكريس حياته لصناعة أدواتٍ فلكية أفضل قادرة على تقديم تنبؤات أكثر دقة.



شكل ٨-١: صورة لتايكو براهي.

في عام ١٥٦٦، انتقل براهي إلى ألمانيا ليدرُس الطب في جامعة روستوك. ولم يمرَّ وقت طويل قبل أن يفقد براهي مكانه في الجامعة وجزءًا من أنفه أثناء مبارزة بالسيف مع طالب زميل له. مثَّلت أنفٌ فضية صناعية حلًّا للتشوُّه الذي أصيب به؛ لكن المبارزة التي وقعت أقنعت براهي بأن مستقبله لا يكمُن في الحياة الأكاديمية. فأمضى السنوات التالية عوضًا عن ذلك في التجوُّل بأدواته الفلكية حول البلاطات الملكية في أرجاء أوروبا. وإلى جانب تقديمه ترفيهًا فكريًّا إلى الأرستقراطيِّين الأوروبيِّين، سعى براهي أيضًا إلى إيجاد متبرِّع لتمويل طموحه في بناء مرصد على أحدث طراز.

في عام ١٥٧٠، حلَّ براهي على مدينة أوجسبورج في بافاريا حيث تمكَّن من إقناع عضو المجلس المحلي فيها واسمه بول هاينزل برعاية إنشاء جهاز ربع فلكي ضخم، وهو في الأساس عبارة عن ربع دائرة يُستخدم لقياس ارتفاع الأجسام السماوية في الأفق. كان الجزء الرئيسي من الجهاز الجديد يتكوَّن من قوس بلوطي يبلغ قطره خمسة أمتار ونصف المتر، ويُعَد ثقيلًا جدًّا حتى إنَّ حمله إلى مكانه تطلَّب أربعين رجلًا. وقد قدَّمت تلك الأداة دقَّة لا مثيل لها، زعم براهي «أن سابقينا لم ينتهوا إلى مثلِها يومًا».[2]

في وقتٍ لاحق من ذلك العام، غادر براهي أوجسبورج ليعود إلى كنوتستورب؛ إذ أُصيب والده، أوتي، بوعكة صحية. وقد مات والده في مايو من العام التالي، تاركًا تايكو ابن الرابعة والعشرين ربيعًا سيدًا لضيعة كبيرة بعائدات سنوية من ٢٠٠ مزرعة و٢٥ كوخًا و٥ طواحين إضافة إلى الإنتاج والضرائب الإقطاعية لكنوتستورب. شيَّد تايكو مرصدًا جديدًا يشتمل على آلة سدس محسَّنة، وهي أداة مشابهة للربع إلا أنها تمثِّل سدس دائرة وليس ربعًا، ومِن ثَمَّ تكون أصغر وأكثر قابلية للحمل. ولكونه غيرَ مكتفٍ بالفلك وحدَه، شيَّد براهي أيضًا مختبرَه الخاص مستعينًا بخدمات صانعي الزجاج المحليِّين لصناعة مجموعة متنوِّعة من الأوعية لممارسة فن الخيمياء السرِّي.

الصوفي المهتم بأمر السماء

كان عام ١٥٧١ عامًا ميمونًا في مجال الفلك؛ حيث لم يقترن فقط بإنشاء مرصد براهي، ولكن أيضًا بولادة الفلكي الذي سيفكُّ أخيرًا غموضَ الفوضى التي في السماء. وُلِد يوهانس كيبلر (حين كان براهي في عمر ٢٥) في بلدة فايل دير شتات الصغيرة في منطقة شوابيا، جنوب غربي ألمانيا. كان والده جنديًّا مرتزقًا وأمه ابنةَ صاحب حانة. في سيرته الذاتية الصريحة للغاية، يصِف كيبلر طفولته مع والده المرتزق: «رجل متعنِّت، وعدواني، وكان من الواضح أن مصيره مِيتة شنيعة». غادر الأب المنزل للأبد حين كان يوهانس في عمر الخامسة. ويُعتقد أنه مات في حرب الاستقلال الهولندية. لم يكن يوهانس أكثرَ عطفًا تجاه والدته التي وصفها بأنها «ضئيلة البنية نحيفة القوام داكنة البشَرة ونمَّامة وعدوانية وسيئة الخلق».

تلقَّى كيبلر تعليمه في المدرسة المحليَّة ثم في معهدٍ لوثري قريب حيث «في أثناء هاتين السنتين [في عمر ١٥ و١٦] عانيت باستمرار مشكلاتٍ جلدية، عبارة عن تقرحاتٍ شديدة في الغالب، نتجت غالبًا من قشور الجروح المتعفِّنة المزمنة في قدميَّ، وكانت تلتئم بشكل سيئ وتُفتح من جديد». ويبدو أن سنوات دراسته في المدرسة كانت بلا أصدقاء في معظمها؛ إذ كتب يقول:

> فبراير لعام ١٥٨٦ ... كثيرًا ما كنت أُغضِب الجميع مني بأخطائي: في أدلبيرج تعرَّضت للغدر ... خان صديقي ياجر ثقتي: كذب عليَّ وبدَّد معظم أموالي. التجأت إلى الكراهية ومارستها في شكل خطابات حانقة على مدى عامين.

ومع كل هذا مُنِح كيبلر منحةً دراسية في جامعة توبنجن؛ حيث درس ليصبح قسًّا. ومن هذه النقطة يستمر في رسم صورته الذاتية غير اللائقة: «ذلك الرجل [كيبلر نفسه] ... مظهره كان ككلب مدلَّل ... دائمًا ما كان يسعى إلى قبول الآخرين ومودتهم ... لكنه خبيث ويعقر الناس بسخريته».

حلَّ كيبلر على توبنجن عام ١٥٨٩. كانت الجامعة قد تأسَّست عام ١٤٧٧، بعد أكثر من مائة عام بقليل من وفاة ويليام الأوكامي، على يد الفيلسوف الأوكامي جابرييل بيل الذي وُصِف بأنه «متحدِّث مفوَّه باسم «المذهب الجديد» و... أحد مستخدمي المنهج الاسماني المميزين».[3] أصبحت الجامعة التي أسَّسها بيل مركزًا «للمذهب الجديد» في ألمانيا؛ لذا ليس هناك الكثير من الشك حول تعرُّض كيبلر وهو في توبنجن إلى أفكار ويليام الأوكامي وشفرته. عِلاوة على ذلك وبحلول القرن السادس عشر، كانت جامعة توبنجن قد أصبحت أيضًا مرتعًا للوثرية المستلهَمة من المنهج الاسماني الممزوجة بلمحة من نسخة ملانشتونية الشمال أوروبية من الإنسانوية. وطبقًا لعالِمة اللاهوت والمؤرِّخة شارلوت ميثوين، كان المزيج الغريب للنزعة التجريبية المستلهَمة من المنهج الاسماني، والصوفية والإبداع المستقيَين من الإنسانوية في توبنجن هو ما ألهم كيبلر بمنهجه الثوري في حل لغز حركات الأجسام في السماء.[4] وكما كتب كيبلر نفسه عام ١٥٩٨: «أنا منجِّم لوثري، أتخلَّص من الهراء وأبقي على جوهر الأشياء».[5] كما كان معلِّم كيبلر في توبنجن أيضًا وهو مايكل مايسلين ذا تأثير مهم؛ إذ كان يملِك واحدة من نُسخٍ قليلة متداولة من كتاب كوبرنيكوس «عن دورات الأجرام السماوية».

النجم الجديد

في عام ١٥٧٢، أي العام الذي يلي عام ميلاد كيبلر، كان تايكو براهي عائدًا من مختبره في كنوتستورب حين نظر إلى السماء مصادفةً وذُهِل لرؤية نجم جديد. كان مرتابًا إلى حدٍّ بعيد حتى إنه طلب من مجموعة من الفلاحين المارة أن يؤكِّدوا المشهدَ. كان موضع النجم الجديد خارجَ نطاق دائرة البروج التي تتحرَّك الكواكب عبْرها؛ لذا لم يبدُ أن الجسم الجديد هو كوكب. قد يكون مذنَّبًا، وهو نوع من النجوم السيَّارة المعروفة منذ القِدَم. لكنَّ عدة ليالٍ من الملاحظة أقنعت براهي بأن النجم الجديد لم يكن سيَّارًا، بل كان عوضًا عن ذلك يدور في مسارٍ دائري منتظم حول الأرض كلَّ يوم، كأي نجم ثابت آخر.

نعرِف اليوم أن براهي كان محظوظًا بما يكفي ليشهد ظهورًا نادرًا لمستعِرٍ أعظم، أو نجم منفجر، والذي يُعرف الآن بـ «إس إن ١٥٧٢». إلا أن ظهور هذا المستعِر الأعظم في عام ١٥٧٢ والذي كان لامعًا كثيرًا لدرجة أن كان بالإمكان رؤيته في ضوء النهار مدة بضعة أسابيع، ضرب أرجاء أوروبا بموجة من الصدمة. فطبقًا لعلماء اللاهوت، ثبَّت الرب كلَّ نجم في قبة السماء في اليوم الرابع للخلق، وسيبقى كل نجم في مكانه من دون أن يمرَّ عليه تغيُّر حتى نهاية الزمان. كانت هناك عدة حالات استثناء شهيرة، كظهور النجم الذي أرشد المجوس الثلاثة إلى بيت لحم وولادة المسيح. لكن كانت هذه اللحظة بالغةَ الأهمية في العالم المسيحي؛ فهي لحظة ميلاد إله. فما الذي ينبئ به ظهور نجم جديد؟ سرعان ما أنتجت دُور النشر منشورات منذِرة تحذِّر من أن النجم يُنذِر بالمجيء الثاني للمسيح وبنهاية العالم. وبهدف تجنُّب هذا الاستنتاج غير المستساغ، اختار معظم علماء الفلك احتمالية أن النجم الجديد لم يكن نجمًا في واقع الأمر، بل شيئًا لامعًا آخر، كمذنَّب، اقتحم الفضاء الأرضي بين العالَم الأرضي المتقلِّب والسماء الثابتة.

كان براهي قد انتهى لتوِّه من إنشاء آلة السدس الجديدة الخاصة به القادرة على حسم الأمر. تعمل آلة السدس من خلال قياس التزيُّح، الذي تظهر بمقتضاه الأجسامُ (كإصبعك أمام أنفك) في مواضعَ مختلِفة أمام الخلفية حين ننظر إليها من نقطتَين مختلفتَين. ويختفي التزيح بينما يتحرَّك الجسم مبتعدًا عن عينيك؛ لذا فإن قياس درجة التزيُّح يمثِّل وسيلة — معروفة منذ القدم — لتقدير المسافة نحو أي جسم. أمكن للفلكيِّين الأوائل تحديدُ درجة تزيح صغيرة للقمر، لكن لم تُحدَّد من قبلُ قط درجةُ تزيُّح لأي نجم. كانت أدوات عالِم الفلك الدنماركي هي الأكثر حساسية في العالم ويمكن لها بسهولة أن تحدِّد درجة تزيُّح القمر. لكن تايكو لم يجِد درجة تزيُّح للنجم الجديد. فلم يكن النجم الجديد يتحرَّك مع القبة السماوية فحسب، بل بدا أيضًا على المسافة نفسها. كان هذا النجم بقعة لامعة على ما يُفترض أنه الجدران الطاهرة لسماء الرب.

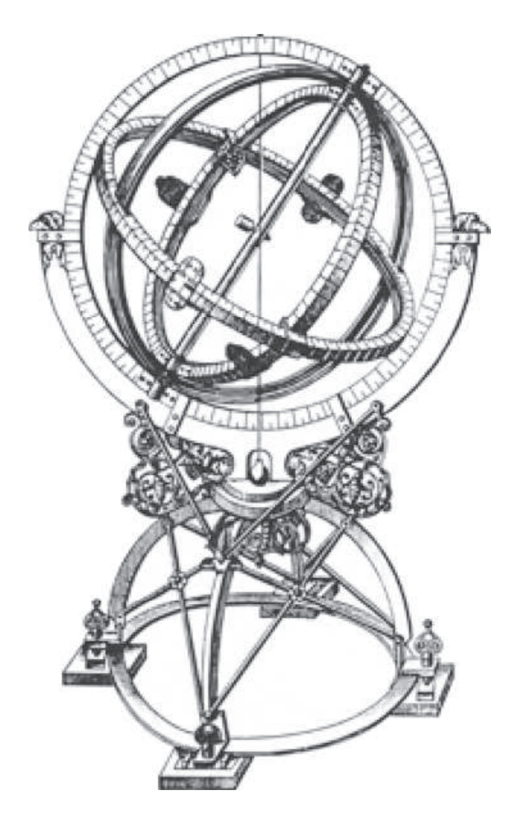
في عام ١٥٧٣، نحَّى تايكو النجمَ الجديد جانبًا، وبدأ العمل على تقويم فلكي وتنجيمي للعام. وسافر بمخطوطة تقويمه إلى كوبنهاجن بهدف إيجاد ناشر له، لكنه وأثناء حفل عشاء مع زملاء قدماء له في الجامعة، من بينهم العالِم الإنسانوي يوهانس براتينسيس، ذُهِل حين عرف أن أحدًا لم يلحظ حتى النجم الجديد. ولم يقتنعوا بوجوده إلا بعد أن جرَّهم تايكو إلى الخارج في ليلةٍ شتوية باردة. فألحَّ براتينسيس على تايكو أن ينسى أمرَ التقويم ويركز عوضًا عن ذلك على نشر ملاحظاته بشأن النجم الجديد.

كان تايكو في ذلك متردِّدًا. كونه أرستقراطيًّا، ربما اعتبر تايكو أن العمل البحثي غيرُ جدير بمقامه. وعلى غرار كوبرنيكوس، ربما كان كارهًا أيضًا أن يصطدم بالكنيسة. لكن براتينسيس أصرَّ على رأيه، حتى إنه أرسل لتايكو نُسخًا من الإفادات المنشورة العديدة الخاصة بالنجم الجديد آملًا أن تدفعه استنتاجاتها غيرُ الصحيحة بشأن أن النجم الجديد مذنَّب إلى القيام بشيءٍ ما. وقد نجحت الخطة وفي النهاية دوَّن تايكو ملحوظاته في كتيِّب صغير تحت عنوان «عن النجم الجديد» ونُشِر في مايو لعام ١٥٧٣.

في كتيِّبه «عن النجم الجديد» دفع تايكو بأن الغياب التام للتزيُّح ينحِّي جانبًا النظرَ للنجم الجديد باعتباره نوعًا من أنواع النيازك النارية أو المذنَّبات، وأن حركته والمسافة الشاسعة بينه وبين الأرض — «حيث يقع بعد الطبقة الثامنة من المجال الجوي» — لا يمكن تفسيرهما إلا إذا كان موقع النجم في الدائرة السماوية الأبعد. وشدَّد تايكو على أن النجم الجديد لا بد أنه إشارة من الرب، على الأرجح أنه ينذِر بنشوبِ حرب أو تفشي وباء أو اندلاع تمرُّد أو وقوع أمراء في الأسر أو غير ذلك من الكوارث.

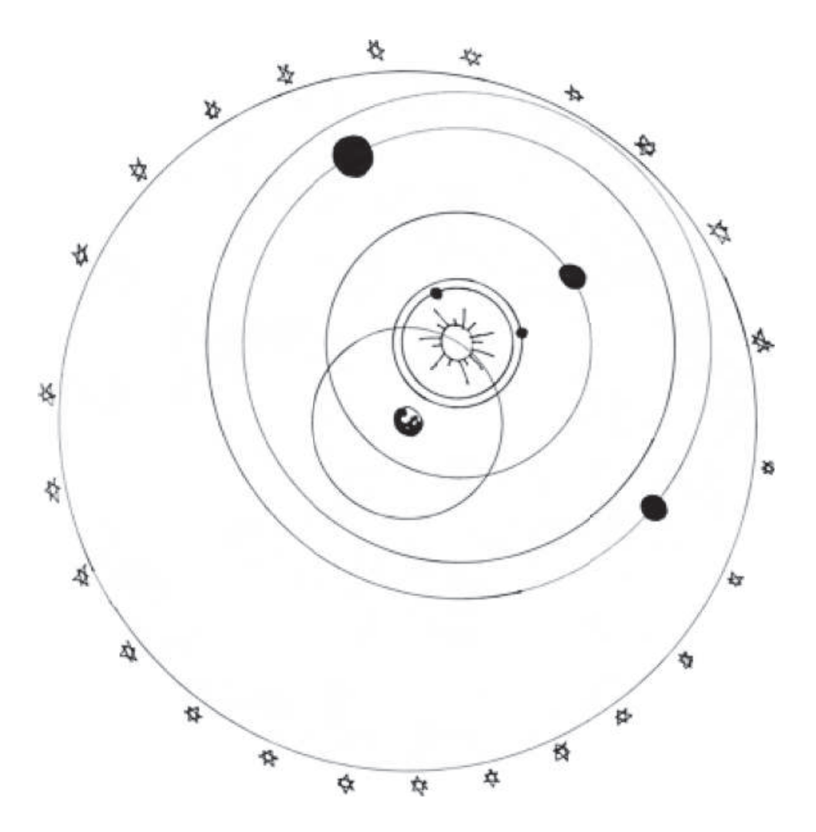
حقَّق الكتيب نجاحًا كبيرًا وجعل تايكو أشهرَ الفلكيِّين في أوروبا. وقد عُرضت عليه وظيفة في جامعة كوبنهاجن وقبِل بها. إلا أنه سرعان ما سئم عبء التدريس وخطَّط لأن يغادر الدنمارك، ربما ليستقر في ألمانيا أو سويسرا. وحين سمِع الملك فريدريك الثاني ملكُ الدنمارك بهذه الاستعدادات، أرسل رسولًا يأمر تايكو بأن يحضُر إلى الملك في نُزل الصيد القريب الخاص به. وهناك، قدَّم الملك فريدريك إلى براهي جزيرةَ هفن هديَّة، وزوَّده بقلعة وأموال لتشييد أعظم مرصد في العالم (وإن كان لا يزال بالعين المجرَّدة). قبِل براهي الهديَّة وسمَّى مرصده أورانيبورج، وانتقل للعيش هناك في عام ١٥٧٦.

على الجزيرة، شرع تايكو في بناء منزل كبير على طرازٍ يعكس مقدارَ الانسجام السماوي. كان هذا باهظَ التكلفة بالطبع، لكن باعتباره سيد الجزيرة ومالكها، كان بإمكانه أن يطلب من الفلاحين الإقطاعيِّين فيها أن يعملوا مدة يومين من كل أسبوع من دون أجر. كما شرع تايكو أيضًا في بناء مرصده، فجمع أكثرَ الأدوات الفلكية تقدُّمًا في العالم وجهَّزها. تشمل تلك الأدوات ساعةً ليست قادرة فحسب على إظهار الساعات والدقائق، بل قادرة كذلك على إظهار الثواني: كان هذا ابتكارًا جديدًا في العام ١٥٧٧ وأساسيًّا للتنجيم الدقيق. كما شيَّد عدة آلات ربع، وآلة ذات حلقات وهي تتكوَّن من حلقات معدنية متحدة المركز تجسِّد مواقعَ الدوائر السماوية ودوراتها (انظر الشكل ٨-٢). وأكثر ما يثير الإعجاب من بين كل ذلك هي كرة سماوية نحاسية قطرها خمسة أقدام، حفر براهي عليها في فترة العشرين عامًا التالية مواقعَ النجوم الثابتة الدقيقة.



شكل ٨-٢: آلة ذات الحلقات.

وفي شهر نوفمبر من عام ١٥٧٧، نعِم براهي مرةً أخرى بشيء من الحظ السعيد فلكيًّا حين ظهر مذنَّب حقيقي في السماء فوق أوروبا. ومع أن هذه المذنَّبات معروفة للإنسان منذ القدم، فإن أرسطو اعتقد أنها تسافر في الفضاء تحت القمر حتى لا تخِلَّ بانعدام الزمن المتوخَّى في السماء. استخدم براهي مبدأ التزيُّح مرة أخرى ليقيس مدى بُعد المذنَّب وخلَصَ إلى أنه أبعدُ من القمر وفي نطاقِ ما يُعتقد أنها السماء المقدَّسة. بل أظهرت قياسات براهي الفلكية بدرجة لافتة للنظر أكثر أن المذنَّب أثناء مروره عبْر السماء مرَّ من دون عائق يعوقه بالدائرة التي يُعتقَد أنها تحمل كوكب الزهرة حول مداره. لذا بعد أن أفسد تايكو براهي السماءَ القويمة بنجمه الجديد، شوَّهت دون قصد ملحوظاتُه عن المذنَّب دائرتها البلورية.



شكل ٨-٣: نظام براهي الشمسي الأرضي.

أثناء سبعينيات القرن السادس عشر، وضع براهي نظامَه الكوني الجديد الخاص به، الذي كان في الأساس مقاربةً بين النظامين البطلمي والكوبرنيكي. في البداية أقرَّ بأن النظام الشمسي المركز «يتفادى تمامًا وببراعة كلَّ ما هو غير ضروري أو متعارض في نظام بطليموس». لكنه كان يواجه مشكلةً في فكرة أن الأرض تتحرَّك. فإلى جانب الاعتراض الشائع والقائل بأن «الأرضَ، تلك الكتلةَ الضخمة الخاملة» غيرُ قادرة على الحركة، ذكر براهي أيضًا الافتقارَ إلى أي تزيُّح شمسي قابل للاكتشاف، والذي من شأنه أن يدل على وجود حركة حول الشمس. وكان حلُّه إزاء ذلك هو صياغة نظام شمسي أرضي، فيه تظل الأرض ثابتة وتدور حولها الشمس والقمر والدائرة السماوية (التي تحمل النجوم الثابتة) في حين تدور الكواكب الخمسة الأخرى حول الشمس (انظر الشكل ٨-٣).

قدَّم براهي وصفًا لنظامه في كتابه «حول أحدث ظواهر عالم الأثير» الذي نُشِر في أورانيبورج في عام ١٥٨٨. بعدئذٍ، أصبح نظامه منافسًا لكلا النظامين البطلمي والكوبرنيكي.

الكون الغامض

بحلول الوقت الذي وصل فيه يوهانس كيبلر إلى توبنجن في عام ١٥٨٩، كان الفلكيون يحاولون جاهدين على مدى عَقدين دمجَ نجم تايكو الجديد والمذنَّب فوق القمري في نظامي بطليموس وكوبرنيكوس السائدين. ولم يسفر نشر تايكو لنظامه الفلكي الجديد إلا عن تفاقم معضلتهم. فأيُّ تلك النماذج يجب أن يستخدموه في حساباتهم؟ لم يكن هذا مجرد جدال نظري. إذ تشتمل واجبات الفلكي على تحديدِ التواريخ المهمة مثل تاريخ عيد الفصح في التقويم المسيحي. والأمر الأكثر إزعاجًا كان سؤال أي تلك الأنظمة يقدِّم نموذجًا فيزيائيًّا صحيحًا للسماء؛ إن كان أحدها يفعل. كان مايكل مايسلين معلِّم كيبلر في توبنحن قد علَّمه أن كلًّا من تلك الأنظمة مجرَّد أداة حسابية ولا يمكنه معرفة حقيقة السماء المبهمة. وقد خالفه كيبلر الرأي.

على غرار كوبرنيكوس، كان كيبلر يعتقد أن مركزية الشمس أكثرُ من مجرد نموذج حسابي: فالأرض تتحرَّك فعلًا. ومنذ عام ١٥٩٣، كان كيبلر يدعم تفسيرًا فيزيائيًّا لنموذج كوبرنيكوس في مناظرةٍ طلابية في توبنجن، حتى إنه ذهب إلى حد القول بأن الشمس هي سبب حركة الكواكب، بما فيها الأرض. لربما كانت آراؤه هذه التي يُحتمل أن تكون ابتداعية هي سبب تلقيه النصح بألا يسعى نحو عمل كهنوتي. فاضطلع كيبلر بدلًا من ذلك بوظيفة تدريس الرياضيات في مدرسة ثانوية محلية في أقصى الشرق في مدينة جراتس التي تقع الآن في النمسا.

وبينما كان يُدرِّس في جراتس راودته فكرةٌ ظلَّت تطارده طوالَ ما تبقَّى في حياته. إذ كان يرسم رسمًا بيانيًّا على السبورة أمام تلاميذه حين واتته فكرة أن الكون كلَّه يمكن أن يُبنى من مجسَّمات أفلاطونية متحدة المركز تكون فيها الشمس في المركز وليس الأرض.

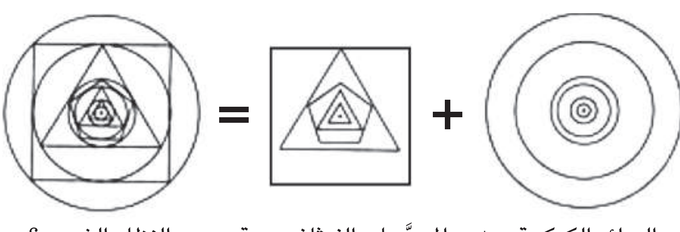
كان المصدر المباشر لهذا بالطبع هو تصوُّف الأفلاطونية المحدَثة وحلمه بإيجاد رسائل خفيَّة في السماء. المجسَّمات الأفلاطونية — التي يُطلق عليها هذا الاسم بسبب الاعتقاد بأن الفيثاغورسيِّين هم مَن اكتشفوها — هي خمس مجسَّمات متسقة منشأة من

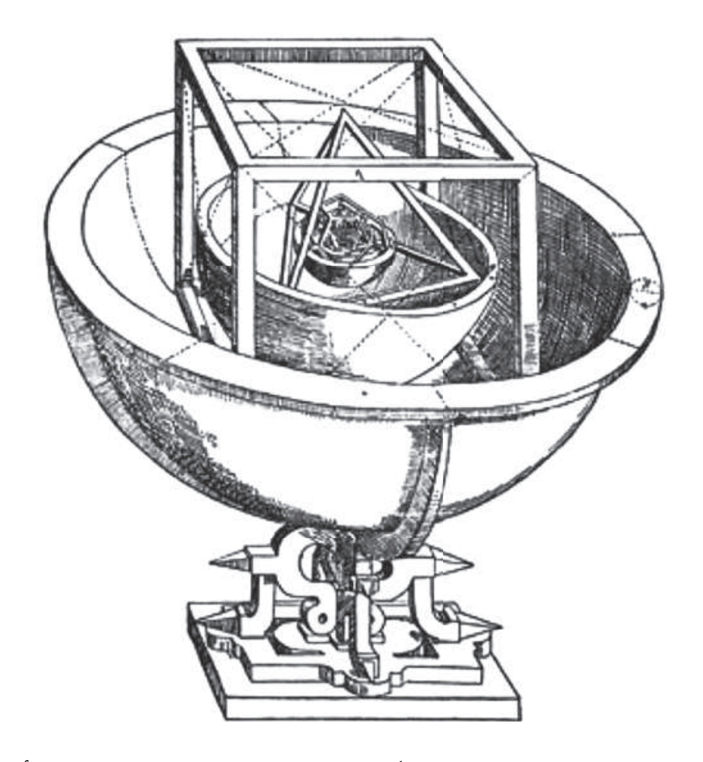
أوجهٍ متماثلة فقط يمكن وضعها بداخل دائرة. أبسطها هو المكعَّب ورباعي الأوجه، ثم يأتي ثماني الأوجه، ثم اثنا عشريُّ الأوجه ثم عِشرونيُّ الأوجه. ويمكن إحاطة كلٍّ منها بدائرة داخلية وخارجية. أدرك كيبلر أن بالإمكان ترتيبَ مجموعة من الدوائر المتداخلة بحيث تشكِّل الدائرة الخارجية لكل مجسَّم أفلاطوني الدائرةَ الداخلية للمجسَّم التالي (انظر الشكل ٨-٤). لذا يمكن لست دوائر متحدة المركز أن تغلِّف المجسَّمات الأفلاطونية الخمسة جميعها. وقد أثار العدد ٦ فضولَ كيبلر؛ حيث كانت الكواكب المعروفة في ذلك الحين هي ستة كواكب فقط (منها الأرض). فربما كانت الفكرة البارزة التي واتت كيبلر هي أن على الأرجح الدوائر الكوكبية الست تنتظم حول المجسَّمات الأفلاطونية الخمسة.

نفَّذ كيبلر فكرته مستخدِمًا نماذجَ ورقية واكتشف أن هناك عددًا محدودًا جدًّا فقط من الطرق لتنظيم المجسَّمات بحيث يتسنَّى دمجُها بعضها داخل بعض. بل الأبرز من ذلك، أن حاول كيبلر تنظيم الدوائر الكوكبية بالترتيب الآتي: عطارد — ثماني الأوجه — الزهرة — عشروني الأوجه — الأرض — اثنا عشري الأوجه — المريخ — رباعي الأوجه — المشتري — مكعَّب — زحل، فإن النِّسب بين أحجام الدوائر تقع ضمن حدود ١٠ بالمائة تقريبًا من النِّسب بين الأحجام التقديرية لمدارات الكواكب في النظام الكوبرنيكي.

كانت هذه مصادفةً استثنائية لا بد أنها أذهلت بشدة الفلكيَّ الشاب ذا التوجُّهات الصوفية. كان كيبلر مقتنعًا بأنه اكتشف سرًّا لم يعرفه أحدٌ من قبلُ سوى الرب، وأولئك الفيثاغورسيِّين المتكتِمين. ودوَّن اكتشافاته في كتيِّب بعنوان «الغموض الكوني» ونشره عام ١٥٩٦، والذي يبدأ بإعلان حماسي بإيمانه بحكمة الأقدمين كما تكشَّف في النظام الكوبرنيكي. ويستطرد كيبلر موضحًا زعمه الأساسي وهو أن الرب — المهندس الأقدس — قد نظَّم الدوائر الكوكبية حول هذا الترتيب الأكثر تناغمًا، بحيث يتسنَّى للكواكب أن تعزِف الموسيقى الفيثاغورسية في المجالات السماوية.

أرسل كيبلر بكل فخر نُسخًا من كتيِّبه إلى الباحثين والعلماء الرواد في عصره، ومن بينهم تايكو براهي و«رياضي يُدعى جاليليو جاليلي كما يوقِّع، والذي كان يرتبط أيضًا لسنوات عديدة بالفكرة الابتداعية الكوبرنيكية».[6] لاحظ إشارته التي تكاد تكون مازحة إلى كلمة «ابتداعية»، مما يشير إلى عدد العلماء الذين كانوا قد استوعبوا بالفعل — بحلول ذلك الوقت — تشديدَ ويليام الأوكامي على فصل العلوم عن اللاهوت، بغض النظر عما كان يُدرِّسه اللاهوتيون.





شكل ٨-٤: نموذج كيبلر القائم على المجسَّمات الأفلاطونية للنظام الشمسي. الرسم أعلاه هو مخطَّط لنموذج كيبلر عن النظام الشمسي والذي يوضح دمج المجسَّمات الأفلاطونية داخل مدارات الكواكب. والرسم الذي أدناه توضيح لنموذج من كتاب كيبلر المنشور عام ١٥٩٦ بعنوان «الغموض الكوني» والذي كان يخطِّط لإنشائه في شكل وعاء فضي كبير.

لم يتسبَّب نشْر كتابه في إبراز اسم يوهانس كيبلر ولفت انتباه الأوساط الفلكية الأوروبية إليه فحسب، بل أمدَّه أيضًا إلى حد ما بمال للزواج، وفي عام ١٥٩٧، حين كان في السادسة والعشرين من عمره، تزوَّج بباربرا مولر، وهي أرملة عمرها ثلاثة وعشرون عامًا وابنة مالكِ طاحونة ناجح. لكن الكتاب لم يلقَ من النجاح إلا القليل. فأشار النقاد إلى أن كيبلر بإمكانه التفاخرُ فقط بدرجة دقة تبلغ نحو ٩٠ بالمائة فيما يتعلَّق بتماشي تنبؤات نموذجه والملاحظات الفلكية. وقد حاجج كيبلر — بشيء من المنطق إلى حدٍّ كبير — بأن الاختلاف يعود في الغالب إلى أخطاءٍ في الملاحظة. لكن كيبلر كان يعلم أنه إن أراد أن يُقنع المتشكِّكين فإنه بحاجة للحصول على قياساتٍ أكثر دقة. فطلب المساعدةَ من الشخص الوحيد القادر على مساعدته. أرسل كيبلر نسخةً من كتابه إلى أشهر الفلكيِّين في أوروبا. وكتب لاحقًا — في خطاب لصديقه وزميله مايكل مايسلين — يقول: «لنصمتْ جميعًا وننصتْ إلى تايكو الذي أفنى خمسة وثلاثين عامًا في ملاحظاته ... سأنتظر تايكو ولا أحدَ آخر؛ وسيفسِّر لي نظام المدارات وترتيبها».[7]

الفلكي ذو الأنف الفضية يلتقي هو والصوفي الحالم

بحلول ذلك الوقت، كان مرصد أورانيبورج المملوك لبراهي قد حقَّق شهرة عالمية. إذ يقول أحد مدخلات اليوميات بتاريخ ٣٠ مارس لعام ١٥٩٠: «أتى ملكُ اسكتلندا [جيمس السادس ملك اسكتلندا وجيمس الأول ملك إنجلترا المستقبلي] هذا الصباح في الثامنة وغادر في الثالثة». لكن تبيَّن أن أمر تشغيل المرصد باهظُ التكلفة، فكان يعتمد على الرعاية. مات الملك فريدريك عام ١٥٨٨ وكان الملك كريستيان اليافع أقلَّ تأييدًا لمجال الفلك. وفي يناير من عام ١٥٩٧، تلقَّى تايكو خطابًا يعلِمه ليس فحسب أن التاج لن يعاود تمويل تشغيل مرصده، بل سيتوقَّف أيضًا عن صرف راتبه السنوي الذي تصرِفه له المملكة. فحزم تايكو براهي معدَّاته وغادر إلى كوبنهاجن. فسقط مرصد أورانيبورج برُمَّته في بئر الإهمال والخراب في نهاية المطاف.

وبعد عدة سنوات من التَّجوال على بلاطات أوروبا الملكية، قبِل تايكو بمنصب عالِم رياضيات إمبراطوري لدى الإمبراطور الروماني المقدَّس رودولف الثاني. وفي عام ١٥٩٨، حين كان في الثانية والخمسين من عمره، استقر في سكنى قلعة بيناتكي في بوهيميا، والتي تبعُد مسافة نحو ثلاثين ميلًا خارج مدينة براغ، حيث أنشأ مرصده. وفي وقت لاحق من ذلك العام، تلقى خطابًا من يوهانس كيبلر مع نسخة من كتاب «الغموض الكوني».

في تلك الفترة، ورغم أن العالِم الدنماركي استمر في إجراء ملاحظاته الفلكية، فإن طموحه تحوَّل نحو إثبات نموذجه الفلكي، وكانت تلك مهمةً تفوق مهاراته الرياضية. وحين وصله كتاب «الغموض الكوني» الذي يعجُّ بالحسابات الرياضية المبهمة البارعة، كان براهي على درجةٍ من الإعجاب تكفي لأن كتب يردُّ على كيبلر ويعرض عليه وظيفة.

شعر كيبلر بسعادة غامرة إزاء تسلُّمه خطاب براهي. لقد وصل الخطاب في الوقت المناسب تمامًا حيث كانت موجة إصلاح دينية تجتاح مدينة جراتس الكاثوليكية. وباعتباره لوثريًّا متشدِّدًا، تسبَّبت رؤيته المختلفة في وضع منصبه التدريسي، بل ربما سلامته هو وأسرته، في خطر. فحزم حقائبه من فوره وغادر مع أسرته صوب قلعة بيناتكي. والتقى الفلكيَّان في فبراير لعام ١٦٠٠، حين كان كيبلر في التاسعة والعشرين من عمره وبراهي في الرابعة والخمسين.

أوكل براهي في الحال لمساعده الجديد مهمةً صعبة، وهي البحث عن تفسيرٍ منطقي للمدار المعقَّد للمريخ بالتفافاته وانعطافاته وحركته الرجعية. تباهى الشاب الواثق بنفسه بأنه سيحل المشكلةَ في غضون ثمانية أيام؛ إذ كان مقتنعًا بأنه كان قد كشف بالفعل أسرار السماء. استغرقه الأمر كما تبيَّن ثماني سنوات، إلا أن هذه السنوات كانت فيما يتعلَّق بالإنجاز العلمي هي الأكثر إنتاجية وأهمية منذ العالم القديم.

لكن منذ البداية كان بين الرجلين مشاكلُ وصدامات شخصية. لم يكن الدنماركي قد دعا الشاب إلى قلعته من أجل تحقيق حلم كيبلر الفيثاغورسي، بل ليثبت نموذجَه هو. وكانت الأشهر الأولى لكيبلر في قلعة بيناتكي مخيِّبة للآمال؛ حيث كان الفلكي الدنماركي «شحيحًا للغاية» فيما يتعلق ببيانات ملاحظاته، ولم يكن يُطلِع كيبلر إلا على أقل القليل مما يعتقد أنه في حاجة إليه ليُكمِل إثبات النظام التايكوني. وكثيرًا ما كان الثنائي يتشاجران، وكان كيبلر يتركه غاضبًا في مرات عديدة.

وقد وضع القدَر حدًّا لتعاونهما المضطرب يوم ١٣ من شهر أكتوبر لعام ١٦٠١. فقبْل أن يكون قد مرَّ عامان على وصول كيبلر إلى قلعة بيناتكي، كان تايكو براهي يحضُر مأدبة في براغ أقامها بارون روزينبرج. ورغم أنه كان قد أسرف في الشراب، فإنه شعر أنه من غير اللائق أن يغادر المائدة فعانى نتيجةً لذلك من ضغط شديد على مثانته. وبحلول الوقت الذي عاد فيه إلى المنزل، كان يتألم كثيرًا، ثم أصبح محمومًا. وتحوَّلت الحمَّى إلى هذيان حتى استسلم أعظم الملاحظين الفلكيِّين بالعين المجردة، ومات بعد صراع وجيز

في يوم ٢٤ من شهر أكتوبر. بعد ذلك بيومين، عُيِّن مساعده مكانَه وأصبحت كل بيانات براهي التي حصل عليها بجهد جهيد في متناول كيبلر أخيرًا.

بناء نماذج في السماء

في كتاباته، عبَّر كيبلر عن حزنه إزاء وفاة عرَّابه. فرغم ما كان بينهما من اختلافات اجتماعية وثقافية ومزاجية، فإن الرجلين كانا يكنَّان قدرًا كبيرًا من الاحترام أحدهما للآخر. وليس من الصعب أيضًا أن نتبيَّن من كتابات كيبلر فرحَه إزاء حصوله على مفاتيح صندوق الكنوز الفلكية في قلعة بيناتكي. إذ اعترف لاحقًا قائلًا: «حين مات تايكو، سرعان ما انتهزت غياب ... الورثة، بأن أخذت ملاحظاته وجعلتها تحت تصرُّفي».[8]

وبقبوله المنصب، علِم كيبلر أنه كان يخطو خطوةً كبيرة على الصعيد الفلكي. كان براهي يصنَّف عالميًّا باعتباره أعظمَ الملاحظين الفلكيِّين منذ العالم القديم. وإن أراد كيبلر أن يثبت أهليتَه لمنصب عالِم رياضيات إمبراطوري، فإن عليه أن يضاهي اكتشافات سابقه المذهلة أو يفوقها حتى. وكان المشروع الذي كان مقتنعًا بأنه سيثبِّت اعتماده علميًّا هو أن يثبت أن الفيثاغورسيِّين الأقدمين كانوا يملكون مفتاح حل غموض السماء متمثِّلًا في مجسماتهم الخمسة المثالية.

منذ البداية واجه كيبلر مشكلات. والصعوبة التي واجهها أساسية في جميع العلوم ومركزية فيما يتعلق بدور شفرة أوكام في الفكر العلمي: وهي مشكلة اختيار النموذج. انظر إلى المعضلة التي واجهها كيبلر. كان أمامه أربعة نماذج على الأقل (البطلمي والكوبرنيكي والتايكوني ونموذجه الخاص)، وكلٌّ منها كان يبرهن على البيانات إلى حد كبير لكن ليس بصورة مثالية. وكانت النماذج تقدِّم هامش خطأ يقع بين ٥ و١٠ بالمائة تقريبًا. لكن كان هناك في واقع الأمر عددٌ يكاد يكون غير محدود من النماذج التي يمكن لكيبلر أن يستخدمها؛ إذ يمكن تعديل كل نموذج من النماذج أعلاه بهدف تحسين ملاءمته، وذلك من خلال — على سبيل المثال — تعديلِ أي دائرة من الدوائر التي يبلغ عددها قرابة ٨٠ في نموذج بطليموس، أو من خلال إضافة المزيد من الكيانات في شكل أفلاك تدوير إضافية لنموذج كوبرنيكوس. فأين ينبغي له أن يبدأ في عالَم يعجُّ بالنماذج المحتملة؟

هذا الموقف شائع في العلم. أتذكَّر كيف أمضى المدرسيون قرونًا كثيرة من غير جدوى يتجادلون بشأن المكان الذي تنتمي إليه الحركة في فئات أرسطو؟ وفي قرننا هذا، انشغل علماء نظرية الأوتار على نحو مشابه بعدد من النماذج الرياضية يزيد عن عدد الجسيمات

في الكون بأكمله. ولكي يحقِّق العلم التقدُّم، فإنه بحاجة لوسائل تمكِّنه من التدقيق في بحور النماذج المعقَّدة التي تلائم البيانات بالشكل الكافي لإيجاد تلك التي من المرجَّح أن تُثمر عن نماذجَ أفضل.

وقد تنطوي عملية اختيار أحد النماذج على تطبيق الكثير من المعايير. وأكثر ما يستخدم من تلك المعايير هي العقيدة، سواء كانت دينية أو تاريخية أو ثقافية. إذ ينزع العلماء — كمثل أي شخص آخر — إلى اختيار الحلول التي تناسب تحيُّزاتهم. كان هذا هو معيار الاختيار الذي تبنَّاه مرغمًا جان بوريدان، وتبنَّاه مارتن لوثر بشكل حماسي أكثر، لدحض فكرة دوران الأرض. وبالمثل سمح كوبرنيكوس لعقيدةٍ قديمة أن تؤثِّر على اختيار نموذجه حين شدَّد على أن المدارات الدائرية وحدَها هي المسموح بها في نموذجه القائم على مركزية الشمس. وسمح كيبلر لنفسه أيضًا أن ترشده قناعته الشخصية بأن الفيثاغورسيِّين كانوا على حق. لكن، في حالة كيبلر، ثبَت أن اختياره للنموذج كان مثمرًا؛ لأنه كان بسيطًا ومن السهل إثبات خطئه.

ربما لم يكن مبدأ البساطة يحتل المقامَ الأول في ذهن كيبلر، لكنه كان مشمولًا ومتضمَّنًا. ستتذكَّر أن فكرة الكون الفيثاغورسي واتته في لحظة إلهام بينما كان يدرِّس لأحد الصفوف الدراسية في جراتس. وقد نبعت فرحتُه من قناعته الأفلاطونية المحدَثة بأن «السماء، أول ما خلق الرب، قد بُسطت بصورة جميلة أكثرَ من الأشياء العادية والصغيرة المتبقية».[9] وبكلمته «جميلة» — أو «تناغم» كما يذكر في الكثير من الفقرات الأخرى — كان كيبلر يشير إلى المفهوم الشائع لدى الرياضيِّين، وهو الجمال الرياضي. يصف المصطلح اللذةَ الجمالية التي يستمتع بها الرياضيون من خلال إدراك البِنى الرياضية، سواء كانت هندسية أو جبرية أو عددية، والتي تنطوي على صفات التناغم والتناسق والنظام، وبصفة خاصة البساطة. على سبيل المثال، أبدى الرياضيون إعجابَهم بجمال المبرهنة الفيثاغورسية البسيطة وبراهينها الهندسية الأنيقة الرائعة منذ أقدم العصور. وبعد مرور أربعة قرون بعد كيبلر، كتب عالِم الرياضيات الفرنسي هنري بوانكاريه أن «العالِم لا يدرُس الطبيعة لأن فعْل ذلك ينطوي على فائدة. بل يدرُسها لأنه يستمتع بفعل ذلك، وهو يستمتع بفعل ذلك لأن فعْل ذلك شيء جميل ... ولأن البساطةَ والرحابة صفتان جميلتان فإننا نفضِّل أن نبحث عن الحقائق البسيطة والحقائق الرحبة».[10] وبالمثل نصح عالِم الفيزياء الحائز جائزةَ نوبل بول ديراك بأنه «ينبغي للباحث في إطار جهوده الرامية إلى التعبير عن القوانين الأساسية للطبيعة في شكل رياضي أن يسعى جاهدًا وفي المقام الأول

وراء الجمال الرياضي».[11] إن البساطة والرياضيات تسيران جنبًا إلى جنب. وعلى مدى القرون، لطالما سعى الرياضيون جاهدين لتبسيط «المعادلات البغيضة» لاستقاء حلول جميلة. هذا هو ما يفعله الرياضيون.

لاحقًا أوضح كيبلر هذا الأمر بشكل أكبرَ في عمليه «الغموض الكوني» و«تناغم العالم» الذي نُشِر عام ١٥٩٩؛ حيث شدَّد على أن العالم (الكون) يُعدُّ تجليًا للتناغم الإلهي، الذي يتكشَّف في اعتماده على مبادئ أساسية — أو «أنماط أولية» كما يُطلق عليها — «لا مثيل لها في بساطتها».[12] واستطرد كيبلر فأكَّد أن «الطبيعة بسيطة» ومرارًا شدَّد على أن الإله أو الكون «يستعمل سببًا واحدًا لنتائجَ عديدة».[13] هذا بالطبع هو أحد الأشكال الكثيرة المختلفة لشفرة أوكام التي كانت تدور في فلك «المذهب الجديد»، الذي لا بد أن كيبلر صادفه أثناء دراسته في توبنجن. وعلى غرار كوبرنيكوس وسابقيه ممن اتبعوا «المذهب الجديد»، تبنَّى كيبلر مبدأ البساطة معيارًا أساسيًّا لاختيار نموذجه، إما على نحوٍ صريح من خلال استخدامه شفرةَ أوكام، أو على نحوٍ ضمني من خلال اتباع مبدأ الجمال أو التناغم الرياضي.

كانت بوصلة ويليام الأوكامي هي عزْمه على تقليص قائمة أجزاء هذا العالم إلى الحد الأدنى. لم يكن أيٌّ من كوبرنيكوس أو كيبلر معنيًّا بالبساطة العددية بصفة خاصة، بل كانا يميلان أكثرَ نحو البساطة الجمالية. فهل تشبه هذه الشفرة الجمالية شفرةَ أوكام؟ هل تؤدي جميع الطرق التي نسلكها في سبيل تحقيق البساطة إلى الغاية نفسها؟ حتى في يومنا هذا، لم يُتوصَّل إلى رأي حاسم بعدُ في هذه المسألة؛ حيث إن البساطة ليست بسيطةً بقدرِ ما قد تبدو.[14] فالكثير من المفاهيم في العلوم — كالطاقة في الفيزياء أو الحياة في الأحياء — غامضة، ومن الصعب تحديدها بصورة مماثلة؛ لكن غموضها هذا لا يقوِّض جدواها. وفي اعتقادي أن صعوبةَ تعريف هذه المفاهيم تشير في واقع الأمر، حسبما أعتقد، إلى أن حقيقتها النهائية تشغل مستوًى أعمقَ من أسسنا المفاهيمية الحالية.

اكتشف كيبلر ميزةً للنماذج البسيطة فيها نوعٌ من المفارقة — وهي أنها عادةً ما تكون خاطئة! تخيَّل أن صديقتك تهاتفك لتقول لك إنها اكتشفت وجودَ حيوان في حديقتها وتطلُب منك أن تخمِّن نوعه. قد تخمِّن أنه «كلب»، لكنك قد تخمِّن أيضًا أنه «من الثدييات». كِلا هذين النموذجين جيدٌ بصورة مثالية لنوع الحيوان الذي يوجَد في حديقة أحد الأشخاص، لكنَّ أحدهما أبسطُ من الآخر. وهو أبسط لأننا لو فكَّرنا في «نوع الحيوان» فإن مُعامِل نموذج الكلب لا ينطوي إلا على خِيار واحد فقط — وهو «الكلب» — في حين

ينطوي نموذج الثدييات على الكثير من الخيارات المحتملة بما فيها القطط أو البقر أو الماعز أو الكلاب أو الخيل أو غيرها من الثدييات التي قد يكون على مرْجها. ستَثبُت صحة النموذج البسيط إذا ما نبح الحيوان الغامض، لكنه سيكون خاطئًا إذا ما أطلق مواءً أو ثغاءً أو عواءً أو صهيلًا. وسيكون النموذج الأكثر تعقيدًا صحيحًا في كل هذه الحالات، لكنه سيكون خاطئًا إذا ما زقزق الحيوان.

والنماذج البسيطة هشةٌ بمعنى أنه من السهل دحضُها بالبيانات المناقضة لها. وفي المقابل، يمكن للنماذج المعقَّدة أن تَسَعَ في غالب الأحيان معظمَ نقاط البيانات؛ لأن مُعامِلاتها يمكن أن تسَع نطاقًا واسعًا من القيم، وبهذا تكون أصعب من حيث تفنيدها. كان هذا هو أحدَ أسباب صمود النظام البطلمي طيلةَ هذا الوقت: كان به الكثير من المُعامِلات بحيث كان يَسَعُ أي قدرٍ من البيانات تقريبًا.

وقد جرَّب كيبلر هشاشةَ النماذج البسيطة حين حاول أن يوائم نموذجَه الفيثاغورسي والبيانات الفلكية التي استخلصها من مادة براهي. ورغم ما بذل من جهد في محاولاته، دائمًا ما كان مصيرها الفشل. ولو كان يستخدم نموذجًا معقَّدًا مثل نموذج بطليموس أو نموذج كوبرنيكوس، لأصبحت الإجابة واضحة: أضِف المزيد من الدوائر. من المؤكَّد أن رياضيًّا فذًّا مثل كيبلر كان ليتمكَّن من إيجاد طريقةٍ ما لتعديل النموذج بحيث يناسب البيانات، وذلك بشيء كافٍ من الصبر و٨٠ مُعامِل أو نحو ذلك. لكن في تناقض صارخ، لم يكن هناك المزيد من المجسَّمات الأفلاطونية؛ لذا كلُّ ما أمكنَ كيبلر فعْله هو إعادة ترتيب تلك المجسَّمات، لكن وكما عرفنا بالفعل، هناك عدد محدود جدًّا من الطرق التي يمكن ترتيب المجسَّمات الأفلاطونية بها للخروج بمجموعاتٍ متداخلة. ومع أنه جرَّبها جميعًا، لم يتمكَّن من تحسين نسبة ملاءمة نموذجه لبيانات براهي التي كانت تبلغ ٩٠ بالمائة.

كانت خطوة كيبلر التالية، وإن كان قد اتخذها على مضضٍ، هي إضافةَ المزيد من التعقيد. هذا يتوافق تمامًا بالطبع وشفرةَ أوكام، التي لا تُصر على أن العالَم بسيط — وهذا على عكس الكثير ممن يذمُّونها — إنما فقط علينا حيال تفكيرنا بشأنه ألا نضاعف الكيانات بما لا تقتضيه الضرورة. وإن كانت الكياناتُ الموجودة لا تستطيع أن تفي بالغرض فإن الشفرةَ تعطيك حريةَ إضافةِ ما تحتاج من الكيانات، ما دامت لا «تفوق الضرورة». وكان التعقيد الإضافي الذي زاده كيبلر على نموذجه هو هجْر عقيدة أفلاطون القائلة بأن الكواكب تتحرَّك دائمًا بسرعة موحَّدة. عوضًا عن ذلك، سمَح كيبلر لكوكب المريخ أن يغيِّر سرعتَه المتجهة بينما يدور حول الشمس. وقد أتى هذا التعقيد

الإضافي بثماره على الفور. إذ اختفت خمسة أفلاك تدوير في النظام الكوبرنيكي. أصبحت تلك الأفلاك هي نفسها الكيانات الزائدة على الحاجة فاستبعدها.

ثم سعى كيبلر إلى تحديدِ نصف قطر الدائرة الكاملة، الأمر الذي سيبيِّن مدار كوكب المريخ بحسب اعتقاده. ومرة أخرى، باء بالفشل. كتب كيبلر يقول:

> إن سئمتَ [عزيزي القارئ] من طريقةِ الحساب المضجرة هذه، فترفَّق بي، أنا الذي كرَّرت فِعلها سبعين مرة على الأقل ممَّا أضاع من وقتي الكثيرَ والكثير؛ ولا تندهش من أن السنة الخامسة الآن قد قاربت على الانتهاء منذ اضطلعت بدراسة المريخ …

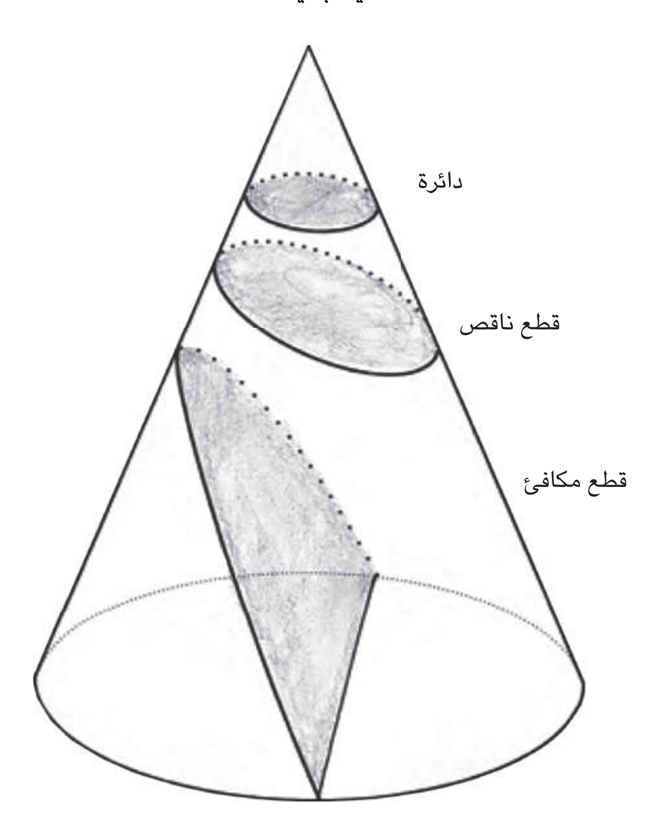
بعد خمس سنوات من التدقيق في آلاف العمليات الحسابية التي تصيب العقل بالشلل (تذكَّر أن هذا كان قبل اختراع المسطرة الحاسبة)، توصَّل كيبلر أخيرًا إلى مواءمةٍ جيدة بين تنبؤاته ونقاط البيانات الأربع الحاسمة التي حصل عليها من ملاحظات براهي. إن «الفرضية المبنية على هذه الطريقة لا تستوفي المواضع الأربعة التي تأسَّست عليها فحسب، بل تتنبأ أيضًا بكل الملاحظات الأخرى في غضون دقيقتين …». لكنه بعد ذلك قال بمرارة: «مَن كان يظنُّ أن هذا ممكن؟ فهذه الفرضية، التي تتوافق بصورة وثيقةٍ وأوجهَ التعارض المرصودة، خاطئةٌ رغم ذلك …».

بهدف اختبار نموذجه الجديد، استبعد كيبلر نقطتين أخريين من مخزون براهي الهائل وحلَّت الكارثة: إذ تحطَّمت فرضيةُ الدائرة الأفلاطونية العزيزة الخاصة به على صخرة البيانات العنيدة. كانت الدوائر تنحرف الآن عن قياسات براهي بثماني دقائق قوسيَّة (يبلغ قطر القمر حوالي ٣٠ دقيقة قوسيَّة). وكتب كيبلر بحزن: «لو اعتقدتُ أن بإمكاننا تجاهُلَ الدقائق الثماني هذه، لصححتُ فرضيتي وفقًا لذلك». وبقوله «صححت»، كان كيبلر يقصد تطويعَ مُعامِلات نموذجه حتى تقدِّم تناسبًا معقولًا. لكن كيبلر كان يعلم أن نموذجه البسيط — ومِن ثَمَّ الهش — لا يوفِّر له إلا مساحة قليلة للغاية للمناورة، ومن المؤكَّد أنه عاجز عن تفسير تلك الدقائق القوسية الثماني. وشدَّد كيبلر على أنه «حيث إنه لم يكن من الممكن تجاهلها، فإن تلك الدقائق الثماني تشير إلى الطريق نحو إصلاحٍ كامل لعلم الفلك …». وكان الطريق الوحيد أمام كيبلر والذي يسمح له بالمضي قُدمًا، هو سحْق هذه المجسَّمات الأفلاطونية والبدء من جديد.

ورغم وجود الدقائق القوسية الثماني تلك، فإن الشكَّ ساور كيبلر في أنه على مقربةٍ من إيجاد حل. فبعد نجاحه في التحرُّر من مبدأ الحركة الموحَّدة، تجرَّأ كيبلر على التضحية بعقيدةٍ قديمة أخرى، كانت هذه المرَّة هي الدوائر المثالية. منذ أفلاطون، شدَّد كل الفلكيِّين تقريبًا على أن الأجسام السماوية — كونها من أهل السماء — تتحرَّك في الفضاء في دوائرَ مثالية. بالطبع كل الدوائر مثاليةٌ بالمعنى الذي يقول بأنها دوائر، لكن بكلمة «مثالية» كان أفلاطون وآخرون يؤكِّدون المثاليةَ والكمال، بالمعنى المتعلِّق بالجمال الرياضي، لجسم ثنائي الأبعاد يتسم بالروعة والتناغم والبساطة إلى أقصى حدٍّ، لكن بإمكاننا رغم ذلك أن نصِفه برقمٍ واحد، وهو نصف قُطره. كانت خطوة كيبلر التالية التي اتسمت بتردُّد شديد هي محاولةَ ثني الدوائر. وبعد عدة محاولات لتجربة انحناءات مختلِفة عثَر بالصدفة على القطع الناقص، وهو أحد القطاعات المخروطية التي يُحصل عليها عن طريق قطْع المخروط بمستوًى مائل على محوره (انظر الشكل ٨-٥). في واقع الأمر، الدائرة هي أبسطُ أنواع القطاعات المخروطية حيث يمكن الإشارةُ إليها برقم واحد فقط يمثِّل أين قُطِع القطاع «الأفقي» على المخروط. في المركز التالي من حيث البساطة يأتي القطع الناقص الذي نحصُل عليه من خلال قطع المخروط بمستوًى مائل. ويتطلب القطع الناقص رقمين فقط يحدِّدان النقطتين اللتين يبدأ وينتهي عندهما. وإذا ما أخرجناه من المخروط، فعادةً ما يُوصف القطع الناقص بأنه المنحنى المرسوم حول نقطتين بؤريتين بدلًا من المركز الفردي للدائرة. وقد اكتشف كيبلر أن تنبؤات نموذجه تتناسب أخيرًا وملاحظات براهي الشديدة الدقَّة، وذلك حين ثنى المدار الدائري للمريخ فحوَّله إلى قطع ناقص أو شكل بيضاوي.

كان هذا اكتشافًا بارزًا، لكن هل كان قاصرًا على المريخ؟ لكي يعرف كيبلر ذلك، حاول بعدها أن يضيفَ عامل الحركة غير الموحَّدة ويثني دوائرَ مدارات الكواكب الأخرى، من بينها الأرض، إلى مدارات بيضاوية. ولدهشته، أصبحت تنبؤات نموذجه الجديد تطابق الآن تمامًا بيانات براهي. كان كيبلر هذه المرةَ قد كشف بالفعل أسرار السماء.

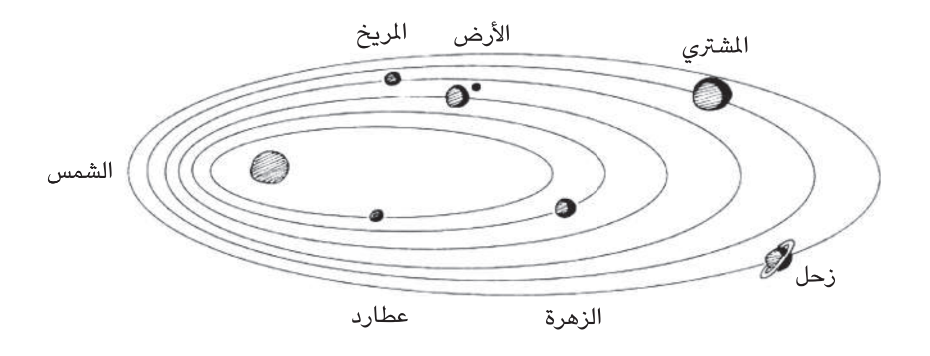
على الرغم من ذلك، فإن الآثارَ المترتبة على نموذجه الجديد كانت هائلة. ذلك أن السماء وطوال ألفيتَين من الزمن على الأقل كانت تعجُّ بدوائر بلورية تجعل الكواكب تدور في مدارات دائرية على نحوٍ مثالي. كان حُلم كيبلر الفيثاغورسي قد أضاف مجسَّمات أفلاطون. لكن الدوائر المثالية وحدَها هي ما يمكنها أن تناسب سطحَ أي مجسَّم من تلك المجسَّمات. وكان ثني كيبلر للدوائر السماوية قد حطَّم من دون قصد كلًّا من بلوريتها وكذلك مجسَّمات أفلاطون. إذ لم يمكن لأي منهما أن يناسب المدارات البيضاوية.



شكل ٨-٥: القطاعات المخروطية.

لكن بين الحطام الفلكي كان هناك نموذج للكون يخلو من كل تلك الدورات وأفلاك التدوير ونقاط معدل المسار. كان هذا النموذج بسيطًا. وبإضافة ثلاث خطوات فحسب من التعقيد المبتكَر إلى نموذجه الأفلاطوني البسيط الذي بدأ به، كان كيبلر قد تمكَّن من إنشاء النظام الشمسي كما نعرفه اليوم. ويظل هذا النظام أحدَ أول إنجازات العلم الحديث وأعظمها.

لكن كيبلر لم يكن فخورًا بما حقَّق من اكتشاف. فقد حلَم باكتشاف التناغم الفيثاغورسي في السماء، لكنه لم يجد عوضًا عن ذلك سوى شكل القطع الناقص المتواضع. وقد وصف الأمر بأنه أشبه ﺑ «جلب ملء عربة من الروث» إلى السماء.[15]



شكل ٨-٦: نظام كيبلر الشمسي بمداراته البيضاوية.

القوانين والبساطة

بعد استبعاد العقائد القديمة والتخلُّص من الدوائر، أصبح كيبلر يرى الآن لمحاتٍ من المسار المستقبلي للعلم. فبعد أن خاض في فوضى الدوائر استطاع أن يلمح ثلاثة قوانين رياضية ترتكز عليها حركة كل كوكب في نظامه الشمسي الجديد. ستتذكَّر قيمة القوانين من عمل حَسَبة ميرتون الذين لا تزال مبرهنتهم عن متوسط السرعة مستخدمة حتى يومنا هذا (رغم أننا نادرًا ما ننسب فضلَها إلى أهله بالشكل الصحيح). وكمثل تلك المبرهنة، استبدلت قوانين كيبلر الرياضية بالتعقيد الاعتباطي قوانينَ قابلة للتنبؤ. وباستخدام القوانين، يصبح العالَم أكثرَ بساطة ومِن ثَمَّ أكثرَ قابلية للتنبؤ به.

ينص قانون كيبلر الأول على أن مدار كل كوكب يمثِّل قطعًا ناقصًا مع وجود الشمس في إحدى بؤرتيه. وينص قانونه الثاني على أن الخط الواصل بين الكوكب والشمس على طول المدار يقطع مساحات متساوية في أزمنة متساوية. لذا، إذا ما رسمت خطًّا من الشمس إلى حيث يوجَد الكوكب في مداره على فترات شهرية، فستحصل على اثني عشر قطاعًا من القطع الناقص للكوكب. ويشدِّد القانون الثاني لدى كيبلر على أن كل قطاع سيكون له المساحة نفسها. أما القانون الثالث فينص على أن مربع الزمن اللازم لكل كوكب لكي يكمل دورةً حول الشمس يساوي مكعَّب نصف طول المحور الطويل لمداره البيضاوي. تخيُّل هذا أكثرُ صعوبة، لكنه يصف وبشكل أساسي العلاقةَ بين فترة دوران الكوكب والمسافة بينه وبين الشمس. وعلى الأرجح أن القانون الثالث هو الأكثر ثورية

من بين قوانين كيبلر، لأنه يعني ضمنيًّا أن المسافة بين أي كوكب والشمس هي ما تحدِّد مداره — وليس الآلهة أو الملائكة أو أي مبدأ فلسفي أكثر عمقًا آخر. لقد جعل قانون كيبلر الثالث من الكيانات الخارقة للطبيعة شيئًا زائدًا عن الحاجة في السماء.

وحيث إن قوانين كيبلر هي من بين أول القوانين المعروفة في العلم، فمن الجدير أن نشدِّد مرةً أخرى على الطريقة التي جعلت بها تلك القوانين العالَم أكثرَ بساطة. فقبْل قواعده، كان كل كوكب محكومًا بمجموعة القواعد الخاصة به: كحجم وفترة دوران مداره وأفلاك تدويره. وتلك كانت أشياء اعتباطية بمعنى أننا كان علينا أن نقرأها من السماء عوضًا عن التنبؤ بها من خلال قانون جوهري أكثر. لقد استبدلت قوانينُ كيبلر بتلك الاعتباطيةِ قواعدَ تنظِّم حركةَ كل كوكب. في واقع الأمر، لو خلق الخالق كوكبًا جديدًا ووضعه على مسافة معيَّنة من الشمس فإن كيبلر كان ليقدر على تعيين مداره. تلك هي قوة القوانين. إنها تستبدل بكون معقَّد وفوضوي وغير قابل للتنبؤ به آخرَ بسيطًا ومنتظِمًا وقابلًا للتنبؤ به.

لكن ينبغي لي أن أبرزَ أن كيبلر — مع استغنائه عن الحاجة إلى كيانات خارقة للطبيعة من السماء — كان يؤمن بأن الخالق كتب القوانين التي تمكَّن هو من تمييزها. ففي عمله العظيم «علم الفلك الجديد»، كتب كيبلر يقول: «الهندسة هي جلاء أبدي في ذهن الخالق». وطبقًا لكيبلر، لم يكن اكتشافُه لقوانينه الثلاثة إلا قراءة لعقل الخالق الهندسي النزعة.

يصف كتاب «علم الفلك الجديد» لكيبلر، المنشور عام ١٦٠٩، أولَ قانونين من قوانينه عن حركة الكواكب. وقد حقَّق الكتاب نجاحًا باهرًا ورسَّخ لكيبلر كونه أعظمَ الفلكيِّين في عصره. لكنه للأسف، لم يتمكَّن من الاستمتاع بهذه الشهرة؛ حيث تعرَّضت حياته الشخصية لسلسلة من المآسي. إذ ماتت زوجته وابناه في عام ١٦١٢. ثم أتت موجةُ إصلاح دينية أجبرت اللوثريِّين على الخروج من براغ. فاضطُر كيبلر لهجْر منصبه كعالِم رياضيات إمبراطوري والانتقال إلى مدينة لينتس الأكثر تسامحًا. وقد تزوَّج ثانية لكنه عانى مشاكلَ شخصية ومادية مستمرة. ثم ماتت له ابنتان رضيعتان أخريان. وفي عام ١٦١٥، حين كان في الرابعة والأربعين من عمره، كانت أمُّه كاثرينا كيبلر من بين ١٥ امرأة متهمات بممارسة السحر من قِبَل قاضي مدينة ليونبرج، وهي مدينة كيبلر الأم جنوبي ألمانيا. وحين وصل كيبلر إلى تلك المدينة، وجد أمَّه قد قُيِّدت طيلة ١٤ شهرًا إلى أرضية زنزانة وتتلقى تهديداتٍ بالتعذيب. وبعد محاكمةٍ دامت شهورًا طويلة كان كيبلر يدافع

فيها عن أمِّه بنفسه، أُطلِق سراحها أخيرًا في خريف عام ١٦٢٠، لكنها ماتت بعد ذلك بستة أشهر. وقد أُعدِمت ٨ من المتهمات الأخريات. قبل هذا بعامين، أي في عام ١٦١٩، كان كيبلر قد نشر كتابه «تناغم العالم» الذي قدَّم فيه قانونه الثالث. كما حاجج أيضًا بأن دراساته كشفت تناغمًا وجمالًا رياضيًّا بسيطًا في السماء. لكن مع الأسف، ظلَّ العالَم الأرضي غارقًا في التعصب الديني والخرافات.

أكمل كيبلر عملَه الفلكي. وربما كانت أعظم إنجازاته في تلك الفترة هي نشْر كتابه «جداول رودولفين» في عام ١٦٢٧. تكوَّن هذا العمل البارز من قائمةٍ هائلة من النجوم استخرجها من ملاحظات براهي الشديدة الدقة، مع تنبؤاتٍ دقيقة بالمواقع المستقبلية للكواكب استنادًا إلى حساباتٍ حسَبَها باستخدام قوانينه التي اكتشفها حديثًا. وكان البرهان على جدوى نظامه الشمسي المركز وقوانينه هو المنفعة التي تتحقَّق من تلك الجداول. إذ قدَّمت تنبؤات دقيقة لمواقع الكواكب، وأوقات ظواهر الكسوف والتراصف. وفي نهاية المطاف، كانت دقة تلك التنبؤات هي أكثرَ ما أقنع الفلكيِّين بصحَّة النظام الشمسي المركز. ومِن ثَمَّ، استخدم حتى المنجِّمون قوانين كيبلر ليتنبَّئوا بحركات الأجسام في السماء.

حين كان كيبلر بعمر الثامنة والخمسين، سقط مريضًا ومات في ١٥ من شهر نوفمبر لعام ١٦٣٠ في مدينة ريجينسبرج الألمانية. وتظل قوانينه أبقى إرثٍ له وأحدَ أهم الإنجازات العلمية على مر العصور. لكن لماذا نجحت قوانين كيبلر بهذا الشكل؟ ما الذي يجعل الكواكب تدور في مدارات بيضاوية؟ كيف تقيس بُعدها عن الشمس لتعرف سرعةَ دورانها؟ رغم أن قوانين كيبلر تمثِّل تبسيطًا كبيرًا مقارنةً بما سبقها من دوائر وأفلاك تدوير، فإنها تظل اعتباطية بمعنى أن كيبلر أدركها من خلال تناسبها وبيانات الرصد والملاحظة الخاصة ببراهي، عوضًا عن استنباط شكل المدارات من أي مبدأ آخر أعمق. علاوة على ذلك، كانت تلك القوانين تنطبق فقط على الكواكب. ولم تكن تقدِّم شيئًا عن حركة الأجسام الأرضية، كالسهام أو قذائف المدافع. وكان أعظم أوجه التبسيط التالية هو الاكتشاف المذهل بأن القوانين الرياضية لا تحكم حركات الأجسام في السماء فحسب، بل يمكن تطبيقها على الأرض أيضًا.

الفصل التاسع

نقْلُ البساطةِ إلى الأجسامِ الأرضية

يبدو لي ... أن الأمورَ في السماء هي نفسها هنا في الأسفل. وهذا لأنه لا ينبغي أبدًا الإكثار من شيء دون أن تقتضي الحاجة ذلك.[1]

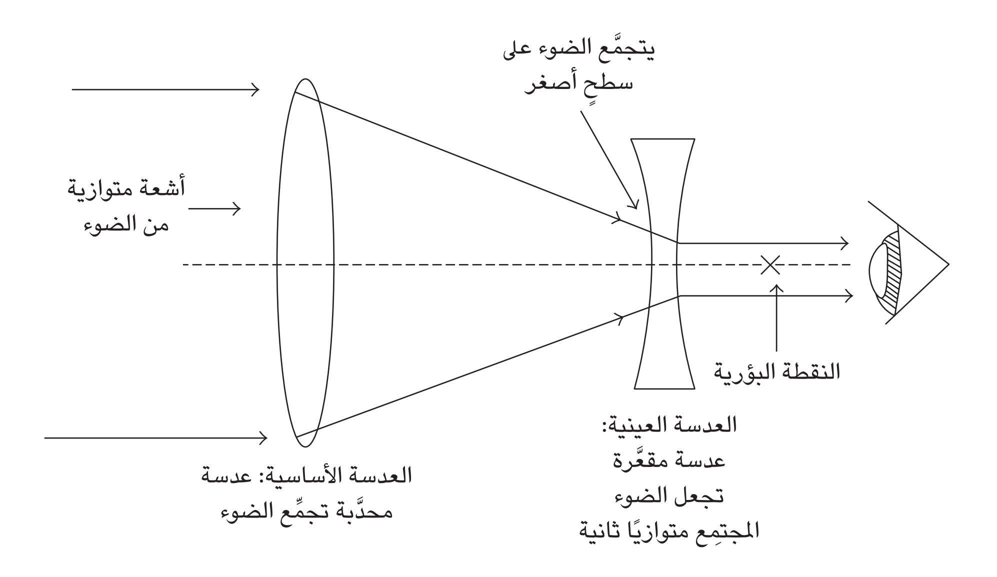
ويليام الأوكامي، حوالي عام ١٣٢٣

لاحظوا فضلًا أيها السادة، كيف أن الحقائق التي قد تبدو بعيدةَ الاحتمال للوهلة الأولى ستخلع عن نفسها بشيء ضئيل من التفسير الرداءَ الذي كان يخفيها وستتقدَّم في جمال بسيط مجرَّد.

جاليليو جاليلي، «حوار حول النظامَين الرئيسيَّين للكون» (١٦٣٢)

في ٢٥ من شهر سبتمبر لعام ١٦٠٨، تسلَّم مجلس طبقات الأمة أو برلمان هولندا في لاهاي رسالةً من لجنة مستشاري مقاطعة زيلاند، فيما كان يُعرف حينها بالجمهورية الهولندية ويُسمى الآن هولندا، مفادُها أن «حاملًا» مجهولًا يزعم أنه اخترع أداةً لرؤية الأشياء البعيدة وكأنها قريبة. تكوَّنت الأداة من عدستين في أنبوب منزلق. عند الطرَف الأمامي توجد عدسة محدَّبة مع عدسة مقعَّرة أصغر تُعَد العدسة العينية. طلب المخترع فرصةً لشرح «تلسكوبه» إلى الأمير موريس الناساوي بحيث يتسنَّى له التماس تمويل من الدولة بغيةَ تطوير أداته أكثر. بعد ذلك بأسبوع، قدَّم صانع نظارات من مدينة ميدلبرج الهولندية يُدعى هانس ليبرهاي طلبَ براءة اختراع لتلسكوب مزدوج. وفي اليوم التالي، قدَّم جاكوب ميتيوس من مدينة ألكمار طلبَ براءة اختراع حصرية لأداة تلسكوبية

كان قد صنعها بعد أن أمضى عامين في البحث واكتشافه معرفةَ سرية لم يعرفها سواه و«بعض الأقدمين». في تلك الأثناء، كان ثمَّة «مخترع هولندي» يسعى لبيع تلسكوب عامل في معرض فرانكفورت عام ١٦٠٨. كان هناك شخص مهتم بشرائه لكن رأى أن ثَمنه باهظ جدًّا. وبحلول شهر أبريل لعام ١٦٠٩، كانت «التلسكوبات الهولندية» تُباع في أحد المتاجر على جسر بون نُف في باريس، وبحلول شهر مايو كان حاكم ميلانو الإسباني يملِك واحدًا. في وقت لاحق من ذلك العام كانت التلسكوبات تنتشر أيضًا في روما والبندقية ونابولي وبادوفا ولندن.[2]



شكل ٩-١: أسلوب عمل التلسكوب الانكساري.

يُقال عادةً إن بعض الأفكار تأتي في أوقاتها المناسبة. وقدرة الزجاج المنحني على تكبير صورة الأشياء أو تشويشها معروفة منذ العصور القديمة. إذ صنع الآشوريون والمصريون القدماء العدسات من الزجاج المصقول واستخدم اليونانيون والرومان كرات الزجاج المملوءة بالماء لتكبير الأشياء. وبحلول القرن الثالث عشر كانت عدسات من الزجاج المصنفر تُستخدم لصناعة النظارات. وقد طبَّق علماء من العالَمَين الإسلامي والأوروبي

— مثل ابن الهيثم وروجر بيكون — التجاربَ على خصائص الانكسار في العدسات الزجاجية. لكن، وعلى قدرِ ما ينتهي إليه عِلمنا، لم يفكِّر أحدٌ قبل بواكير القرن السابع عشر في الجمع بين العدسات لتكبير شيءٍ ما.

وتأتي جميع الروايات المبكِّرة من هولندا، مما يجعل أنه من المرجَّح أن يكون التلسكوب قد اختُرِع هناك، لكن الأنباء عن الاختراع انتشرت بسرعةٍ كبيرة بحيث أصبحت هوية المخترع الأصلي مبهمة. في نهاية المطاف منح البرلمان الهولندي براءة الاختراع إلى هانس ليبرهاي.

استوعبت القوى الأوروبية، ذلك أنها كانت في حالةِ حرب شبه دائمة، الميزةَ العسكريةَ المحتملة لأداةٍ يمكن لها أن تحدِّد الأشياء البعيدة التي يمكن أن تنطوي على تهديداتٍ محتملة كالسفن والقوات. وحين اختبر الأمير موريس التلسكوبَ الجديد في لاهاي، كان عدوُّه الأول — وهو القائد العام للقوات العسكرية لهولندا الإسبانية ماركيز أمبروجيو سبينولا — حاضرًا أيضًا. وبحلول عام ١٦٠٩، كانت الأنباء عن الاختراع قد انتشرت إلى بقيةِ الإمبراطورية الإسبانية. ويبدو أن الأرشدوق ألبرت النمساوي قد حصل على اثنين من التلسكوبات على الأقل في ربيع وشتاء العام نفسه. وفي خطابٍ له إلى الكاردينال شيبيوني بورجيزي — قريب البابا بول الخامس — وصف السفير البابوي في النمسا جويدو بينتيفوليو كم كان مسرورًا حين نظر عبْر تلسكوب الأرشدوق؛ ولم يطُل الوقت حتى ظهر تلسكوب في روما. وبعد عام أو اثنين فقط من اختراعه، كان التلسكوب لا يزال يُباع كتحفة لافتة للنظر أو من أجل تطبيقاته العسكرية. لكن، في وقتٍ ما في أواخر ربيع عام ١٦٠٩ أو بدايات صيفه، كان أستاذ الرياضيات الشاب في جامعة بادوفا ذو الاهتمامات في مجال البصريات، جاليليو جاليلي، يتفاخر بأنه صنع تلسكوبَه الخاص. حينها كان العالم على وشْك أن يتغيَّر.

يعدُّ جاليليو بحقٍّ أحدَ عمالقة العلم، مع أن ذلك يرجع إلى الأسباب الخاطئة في كثيرٍ من الأحيان. فلم يُثبِت جاليليو أن الأرض تتحرَّك، ولم يُلقِ بالأشياء من برج بيزا المائل. لكنه أتى على اكتشافين مهمَّين بصورة حاسمة. الأول أنه أوضح أن السماء تبدو كثيرًا كالأرض، ومِن ثَم فمن المرجَّح أن تحكمها القوانين نفسُها. وكان ثاني أكبر تبسيطاته هو برهنته على أن المنطق الرياضي الذي ثبَت نفعُه الشديد في عمل تنبؤات بحركات الأشياء في السماء ينطبق أيضًا على أجسام الأرض.

الرجل الذي نقل قوانين السماء إلى الأرض

وُلِد جاليليو جاليلي (١٥٦٤–١٦٤٢) في بيزا، وكان هو الأكبرَ من بين ستة أبناء للموسيقي والملحِّن فينتشنزو جاليلي. في عام ١٥٨٠، التحق بجامعة بيزا للدراسة للحصول على شهادةٍ في الطب، لكنه بعد أن حضر محاضرةً عن الرياضيات واكتسب افتتانًا بكل الأشياء الرياضية لازمه طوالَ حياته، تحوَّل جاليليو إلى دراسة العلوم الطبيعية. وأجبرته الصعوباتُ المادية العائلية على هجرِ دراسته قبل أن يحصُل على شهادته. وفي الأعوام التالية حاول أن يصبح كرياضي محترف، فسافر بين بيزا وفلورنسا وسيينا يدرِّس دروسًا خصوصية للطلاب أو في عدة مدارس. وحين كان في الثانية والعشرين من عمره فحسب، نشر أطروحةً صغيرة عن نوع جديد من ميزان استحقَّ عنه منصب رئيس قسم الرياضيات في جامعة بيزا عام ١٥٨٩.

ومما يَلفِت النظر أن الكثيرَ من مسوَّدات محاضراته من تلك الفترة قد نجت. ومع أنها مكتوبة بيده، يبدو أنه انتحل مسوَّدات كتبها أكاديمي آخرُ وهو بولوس فاليوس، الذي كان يدرِّس المنطقَ والمنهج العلمي في الكليَّة الرومانية بروما، ولم يكتب جاليليو مسوَّداته الخاصة بنفسه. من تلك المسوَّدات يمكننا أن نرى أن جاليليو درَّس الرياضيات والفيزياء على الطريقة الأرسطية المدرسية، وكان على دراية بالفلاسفة الاسمانيين، من بينهم حَسَبة ميرتون ووِيليام الأوكامي الذين يشير إليهم مرات عديدة.[3]

وفي عام ١٥٩٢، شغل جاليليو منصبًا في جامعة بادوفا المرموقة أكثر؛ حيث درَّس الرياضيات والميكانيكا والفلك. وقد كتب في عام ١٥٩٧ إلى يوهانس كيبلر الذي كان قد رسَّخ لنفسه من فوره مكانةً مرموقة في طليعة النظام الكوبرنيكي، وذلك بنشره لكتابه «الغموض الكوني» في العام السابق. كان كيبلر قد أعطى نسختين لصديقٍ له سافر إلى إيطاليا، وشقَّت إحداها طريقها إلى بادوفا وجاليليو. كتب جاليليو لكيبلر يقول له إنه اتبع نهج كوبرنيكوس عدة سنوات، و«بهذه الفرضية تمكَّنت من تفسير الكثير من الظواهر الطبيعية التي تظلُّ غير قابلة للتفسير في ظل الفرضية الراهنة». وإلى يومنا هذا تظل هوية تلك الظواهر الطبيعية الكثيرة لغزًا.

حين مات والده في عام ١٦٠١، أصبح جاليليو ابن الـ ٣٧ ربيعًا كبيرَ أسرتِه، فكان مسئولًا عن إعالة أشقائه وشقيقاته الصغار. ورغم أنه لم يكن متزوجًا فإنه أنجب من عشيقته مارينا جامبا ثلاثة أطفال. وتسبَّبت أسرتُه الآخذة في النمو في زيادة العبء المالي

عليه؛ لذا إلى جانب إلقائه المحاضرات في الجامعة وتدريسه الدروسَ الخاصة، سعى جاليليو لترسيخ مكانته كمستشار في الرياضيات وعلم الهندسة العسكرية والتحصينات.

تحوَّل انتباه جاليليو إلى حساب عدد المجاديف الأمثل للقادس، وتصميم مضخَّات صرف مطوَّرة. كما اخترع أيضًا فرجارًا تناسبيًّا محسَّنًا، وهو المكافئ من القرن السادس عشر للمسطرة الحاسبة، التي يستخدمها قباطنةُ المدفعية لحساب الزاوية الأمثل لإطلاق النار من المدافع، وكذلك المسَّاحين لقياس أبعاد المباني والتجَّار لحساب قيمة الفلورينات بالدوقيات، على سبيل المثال. وجَّهت اختراعات جاليليو إليه أنظارَ الأثرياء وذوي السلطة، من بينهم كريستينا اللورينية، زوجة دوق توسكانيا الأكبر فيرديناندو الأول، الذي اتخذ جاليليو في العام ١٦٠٠ معلِّمًا لابنها كوسيمو.

وفي مايو لعام ١٦٠٩، التقى جاليليو بصديقه الباحثِ وزميلِه الكوبرنيكي باولو ساربي (١٥٥٢–١٦٢٣). وعلى الرغم من أن ساربي كان عالمًا لاهوتيًّا، فإنه كان متشكِّكًا، وناقدًا بشدة للكنيسة الكاثوليكية، وداعمًا قويًّا لجمهورية البندقية. بحلول عام ١٦٠٩، كان قد نجا من محاولتَي اغتيال تسبَّبتا في جراحٍ كانت تكشف طِبقًا لكلام ساربي «أسلوبَ البابوية الرومانية». كما كان ساربي من أَتباع المذهب الاسماني ومن المعجبين بويليام الأوكامي، مما يوضِّح أن أفكار ويليام الأوكامي ظلت متداولة في القرن السابع عشر باعتبارها جزءًا من الخلفية الفكرية لِما عُرف لاحقًا بالثورة العلمية.

وفي لقاء له مع جاليليو، شاركه ساربي خطابًا تسلَّمه من تلميذ سابق يُدعى جاك بادوفير، وصف فيه دهشته حين نظر في العدسة المكبِّرة التي ظهرت في باريس. وبهذه التفاصيل الشحيحة فقط، عاد جاليليو من فوره إلى بادوفا، وفي غضون أيام قليلة كان قد صمَّم تلسكوبه الخاص. كانت أداته الأولى تكبِّر الأشياءَ بمقدار ثلاثة أضعاف فقط، وهذا أقلُّ من الأدوات الهولندية، لكن جاليليو بَرَع في تحسين اختراعات الآخرين؛ لذا لم يمرَّ وقتٌ طويل حتى أصبح يملِك أداةً بمقدورها تكبيرُ الأشياء بمقدار ثمانية أضعاف. ومما يثير الفضول أن نهجه يبدو أنه كان مبنيًّا بالكامل على التجربة والخطأ. إذ لم يتكشَّف مبدأ عمل التلسكوبات إلا على يد يوهانس كيبلر في كتابه القصير «علم انكسار الضوء» في عام ١٦١١.

وبحلول عام ١٦٠٩، كان جاليليو قد أبهر رئيسَ جمهورية البندقية بتلسكوبه المطوَّر بما يكفي لكي يتم تثبيته في منصبه بجامعة بادوفا مدى الحياة، وتلقَّى راتبًا سخيًّا قدرُه ألف دوقية كلَّ عام. وبمزيد من الدعم المادي من مسئولي البندقية، أنشأ

جاليليو تلسكوبًا بإمكانه تكبيرُ الصورة بمقدار ثلاثين ضِعفًا. في ذلك الخريف، حوَّل جاليليو تلسكوبه إلى سماء الليل. ولكي يفعل ذلك، قدَّم جاليليو اختراعَين جديدَين. الأول هو حامل لتثبيت التلسكوب، والثاني هو قناع دائري يُثبَّت حول العدسة العينية لتقليل تأثير الهالة حول الأشياء المضيئة أمام خلفية مظلمة.

في الليلة الأولى نظر إلى النجوم. ظلَّت النجوم نقاطًا دقيقة مضيئة في سماء الليل، لكن كان ثمَّة عدة آلاف أخرى منها غير تلك التي تظهر للعين المجرَّدة. تحوَّلت مجرَّة درب التبانة من مجموعةٍ باهتة إلى حزام سماوي يزخر بالنجوم. وفي الليلة التالية، أدار جاليليو تلسكوبَه إلى القمر. في ذلك الوقت، كانت كلُّ الأجسام السماوية، ومن بينها القمر، تُعَد مثاليةَ الاستدارة ولا تشوبها شائبة. فدحضت أولى نظرات جاليليو إلى القمر كلَّ ذلك. إذ اندهش حين لم يرَ مثاليةً لا عيب فيها، ورأى عوضًا عن ذلك مساحةً وعِرة تتخللها الفوَّهات وتنتشر فيها الجبال. كتب جاليليو أن سطح القمر «غير مستوٍ، ووعِر ويزخر بالتجاويف والبروزات، ويشبه وجهَ الأرض؛ إذ تبرُز منه سلاسل جبلية ووديان سحيقة».[4] كان القمر عالَمًا آخرَ لا يختلف كثيرًا عن الأرض التي ثبَّت عليها تلسكوبه.

في ٧ يناير من عام ١٦١٠، أدار جاليليو تلسكوبه نحو الكواكب. على عكس النجوم، كانت أول ميزة خاصة بالكواكب أنها لم تَعُد تبدو كنقاط دقيقة مضيئة، بل كأقراص مضيئة معلَّقة في الفضاء، عدا كوكب زحل؛ حيث بدا أنه يملِك «آذانًا» غريبة. كان من الواضح أن الكواكب ليست مجرد نجوم سيارة، بل أجسام سماوية من نوع آخر. وكان أبرز ما فيها هو كوكب المشتري. إذ كشف تلسكوب جاليليو ثلاث نجوم ضئيلة لم تكن تدور حول الأرض ولا حول الشمس، بل حول كوكب المشتري. وخلَص جاليليو إلى أنه «لا شك أن ثمَّة ثلاثةَ نجوم في السماء تدور حول كوكب المشتري كما يدور كوكبا زحل وعطارد حول الشمس». أخيرًا أصبح ثمَّة دليلٌ على أن الأجسام التي في السماء لا تدور جميعًا حول الأرض، وذلك على عكس ما اعتقده أرسطو وكلُّ جهابذة الفلك الأوائل تقريبًا.

كانت تلك اكتشافاتٍ مذهلة. لم تكن السماء مأوى الآلهة والملائكة، بل عالَمًا يشبه الأرض، كما تكهَّن ويليام الأوكامي قبل ذلك بنحو ثلاثمائة عام. دوَّن جاليليو ملاحظاته الفلكيةَ في كتابه القصير «رسالة فلكية». وفي وقتٍ متأخر من شهر يناير لعام ١٦١٠، هُرع جاليليو إلى البندقية ليجد دارَ نشرٍ لعمله. وكان الحديث عن اكتشافاته المذهلة قد سرَّبها بالفعل، وفي شهر فبراير — أي قبل طباعة الكتاب — تلقَّى جاليليو خطابًا من سكرتير الدوق الأكبر لتوسكانا يخبره فيه أن الدوق «مشدوه» من اكتشافاته. قامر

جاليليو بتغيير اسم أقمار كوكب المشتري المكتشَفة حديثًا إلى اسم «أقمار ميديشي». وقد آتى ذلك بثماره. فطُبع كتابه يوم ١٣ من شهر مارس عام ١٦١٠، وبيعت كل النسخ البالغ عددها ٥٥٠ نسخة في الأسبوع الأول. سُرَّ كوزيمو الثاني دي ميديشي، وفي شهر مايو من العام نفسه، انتقل جاليليو إلى فلورنسا ليضطلع بمنصب فيلسوف الدوق وعالِم الرياضيات الخاص به.

لكن هل تتحرَّك الأرض؟

حين شرع جاليليو في كتابة كتابه «رسالة فلكية»، كان تركيزه فيه يستهدف وصفَ اكتشافاته البارزة عوضًا عن التطرُّق إلى تداعيات ذلك. لربما كان تسلُّمه للخطاب الآتي من فلورنسا بما يشتمل عليه من دعم أسرة ميديشي صاحبة النفوذ هو ما أمدَّ جاليليو بالثقة للالتزام بأفكار كوبرنيكوس. وقد كتب جاليليو عن الأرض يقول: «إننا سنبرهن على أنها تتحرَّك وتفوق القمر في الإشراق، وأنها ليست مكبَّ القذارة والفضلات في الكون». لاحظ هروبه من منظور «القذارة والفضلات» المرتبط بالكون العصرأوسطي (ارجع إلى الشكل ١-١)، الذي يعجُّ مركزه الأرضي بالأرواح المحكوم عليها بالجحيم. عوضًا عن ذلك، يقدِّم جاليليو أرضًا جديدة ساطعة كالقمر وتتمتع بالجدارة كمثل أي جسم سماوي آخر.

ومع هذا، كان ذلك العالَم أيضًا عالَمًا مربكًا بشدة للاهوتيين. إذ أين موضع الجحيم الآن وقد أصبحت الشمس هي مركز الكون؟ بل الأكثر أهمية من ذلك، أين الفردوس؟ كان القساوسة العصرأوسطيون يشيرون إلى السماء فقط ليطبعوا في أذهان مستمعيهم من المصلِّين قرب فردوس الرب منهم، ويشيرون إلى الأسفل ليشدِّدوا على أهمية تلافي الخلود في أعماق نار السعير. وكانت أهمية الكنيسة ترتكز على دعواها بأنها هادية البشرية بين هذين العالمين الخارقين للطبيعة. لكن حين لم يجِد تلسكوب جاليليو غير الصخور في السماء، اهتزَّت بشكل لا رجعة فيه سلطة الكنيسة باعتبارها مرشدًا روحيًّا.

ربما في محاولةٍ لدرء الجدل، يأتي كتاب «رسالة فلكية» على ذِكر كوبرنيكوس مرةً واحدة، ولم يقدِّم جاليليو من الأدلة على مركزية الشمس إلا الضعيف منها. أحد تلك الأدلة كانت أقمار ميديشي، لكن على الرغم من أن وجود تلك الأقمار مثير للدهشة، فإنه لا يثبت أن الأرض تتحرَّك. وكانت حجَّته الثانية هي وجود «ضوء الأرض»، وهو انعكاسات أشعة الشمس التي تضيء الجانب المظلم من القمر. لكن على الرغم من أن أدلته تلك تشير إلى أن الأرض بالفعل جسم سماوي كمثل أي جسم سماوي آخر، فإنها لم تثبت أنها تتحرَّك.

حتى في أعظم إبداعات جاليليو بعنوان «حوار حول النظامين الرئيسيَّين للكون» — والذي نُشِر بعد عَقدين من الزمان على ذلك؛ أي في عام ١٦٣٢ (حين كان في الثامنة والستين من عمره) — لم يقدِّم سوى دليلين اثنين إضافيَّين. أولهما هو اكتشافاته بالتلسكوب في عام ١٦١٠ لأطوار كوكب زحل المشابهة لأطوار القمر. لا تكون تلك الأطوار منطقيةً إلا حين يدور زحل حول الشمس — عوضًا عن الأرض — وهكذا تطيح هذه الملاحظة بالنظام البطلمي. لكن تلك الأطوار لم تستبعد النظام التايكوني القائم على مركزية الأرض، والذي تظل فيه الأرض الثابتة في مركز الكون تدور حولها الشمس، والتي حولها تدور الكواكب الداخلية (ارجع إلى الشكل ٨-٣). وعرض جاليليو دليلًا آخرَ — خاطئًا — يزعم من خلاله أن حركة المد والجزر سببُها حركة الأرض حول الشمس. كانت تلك حجَّة ضعيفة في القرن السابع عشر حتى، حيث كان من المعروف جدًّا بالفعل حينها أن حركة المد والجزر تتأثَّر بحركة القمر وليس الشمس. من الجدير بالذكر أيضًا أن جاليليو ظل طوال حياته داعمًا للنظام الكوبرنيكي الأصلي، بأفلاك تدويره الكثيرة، عوضًا عن أن يكون داعمًا لنظام كيبلر الأبسط بكثير ذي المدارات البيضاوية.

وقد أدَّى نشْر كتاب «حوار حول النظامين الرئيسيَّين للكون» في عام ١٦٣٢ إلى الصدام الشهير بينه وبين الكنيسة الكاثوليكية وتراجعه عن زعمه أن الأرض تتحرَّك، وهذه قصة تداولها الناس كثيرًا.[5] ربما كان جاليليو مقتنعًا بمبدأ الأوكامي حول فصل العلوم عن اللاهوت، لكن في عيون الكنيسة الكاثوليكية ظل مِلك العلوم على عرشه.

تسوية نتوءات العالَم الحقيقي

بغض النظر عن ملاحظات جاليليو، في القرن السابع عشر كان ثمَّة اختلاف كبير بين الأجسام السماوية والأرضية. وبينما يمكن التعبير عن حركة الأجسام السماوية من خلال قوانين رياضية مثل قوانين كيبلر، كان قانون الحركة الوحيد الخاص بالأجسام الأرضية هو مبرهنة متوسط السرعة الخاصة بحَسَبة ميرتون والتي تعود إلى القرن الرابع عشر.

آمن جاليليو أن «[الكون] مكتوب بلغة رياضية». كان من السهل القيامُ بذلك فيما يتعلق بالسماء، لكن على الأرض كانت الأشياء تتحرَّك في الغالب بطرقٍ غير قياسية بحيث بدا أنها غير محكومة بقوانين. بل إن مبرهنة متوسط السرعة حتى لم تكن صحيحة إلا نظريًّا. ومع ذلك كان جاليليو مقتنعًا أن حركة الأجسام الأرضية محكومة بقوانين رياضية كتلك الخاصة بالأجسام التي في السماء، وذلك رغم ما تقدِّمه حواسه من شواهد،

لكن مبادئ تلك القوانين خفيَّة خلف نتوءات العالم الأرضي. وفي حركة ثورية أكثر، شرع جاليليو في إثبات حدْسه ذلك من خلال التجريب.

لم يكن التجريب جديدًا بالكلية. إذ أجرى أرشميدس من قبلُ تجاربَ شهيرة على الروافع وعلى قابلية الطفو. كما أجرى عالِم الفيزياء والفلك والرياضيات العربي ابن الهيثم (٩٦٥–١٠٣٩) تجاربَ بصرية كما ذكر في عمله «كتاب المناظر». وفي كتابه «حول المغناطيس»، وصف الفيلسوف الإنجليزي ويليام جيلبيرت (١٥٤٤–١٦٠٣) مجموعةً من التجارب التي أجراها على أحجار المغناطيس وعلى الكهرمان، وذلك قبل عقود من جاليليو. لكن التجارب الأولى كانت قائمة على الملاحظة بشكل كبير: ملاحظة انعكاس شعاع ضوء على مرآة أو ملاحظة حجر مغناطيس يجذب إبرة. ما جعل النهج الذي اتبعه جاليليو ثوريًّا إلى هذا الحد هو دقته في تصميم بيئة التجربة والتعامل معها من أجل كشف النقاب عن عوامل الانتظام الخفي لحركات الأجسام الأرضية. ولهذا السبب يُعرف جاليليو غالبًا بأبي العلم التجريبي الحديث.

بدأ جاليليو حوالي عام ١٦٠٤ — حين كان في الأربعين من عمره — تجاربَ تقيس سرعة السقوط. وكانت المشكلة التي تواجهه هي أن معظم الأجسام تسقط بسرعة كبيرة بحيث لا يتسنَّى له قياسها. فأتى بحل عبقري. فبدلًا من أن يسمح للأشياء بالسقوط بسرعة في الفضاء الحر، أبطأ جاليليو سرعتها بدحرجتها على مستوًى مائل مثبَّت إلى سطح طاولة. ثم ولكي يسوي نتوءات العالَم الأرضي، صقل الكرات المعدنية أو الخشبية بدقة كبيرة لكي يجعل منها كرات مدوَّرة بقدرِ ما يمكنه، ولكي يجعلها بأحجام متساوية. وحفر أخاديدَ في الألواح الخشبية ليحرص على أن تتدحرج الكرات بثبات وحفَّ الشقوق بورق مغطًّى بالشمع ليقلِّل الاحتكاك. ولكي يقيس الزمن، استخدم جاليليو في البداية نبضه، لكنه بعد ذلك ابتكر ساعةً مائية دقيقةً أكثرَ تنقُّط الماء، مستخدِمًا في ذلك ميزانًا حساسًا لقياس كمية الماء التي تخرج في كل وحدة زمن. وقد أجرى مئات التجارب وأوجد متوسطها ليكشف عن عوامل الانتظام التي تخفيها عوامل الاختلال أو «التشويش» في التجارب الفردية.

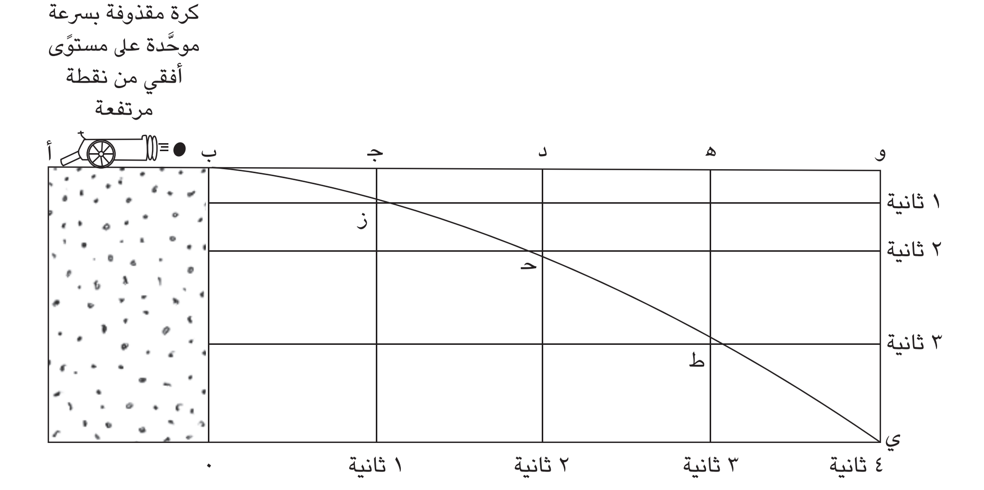
وكان أول اكتشافاته أن أرسطو كان مخطئًا. كان الفيلسوف اليوناني قد زعم أن الأجسام الثقيلة تسقط أسرعَ من الأجسام الخفيفة. ورغم عدم وجود أدلة مطلقًا على إلقاء جاليليو للأشياء من فوق برج بيزا المائل، فإنه دحرج كرات خشبية خفيفة على منحدرات ووجد أنها تتدحرج بالسرعة نفسِها التي تتدحرج بها الكرات الحديدية الأثقل منها كثيرًا.

وليس هذا فحسب، بل عوضًا عن سقوط تلك الكرات بسرعة ثابتة كما شدَّد أرسطو، وجد جاليليو أن الكرات تتسارع بفعل الجاذبية. في واقع الأمر، كانت الكرات تتسارع بصورة موحَّدة، بما يتفق مع مبرهنة متوسط السرعة التي اكتشفها حَسَبة ميرتون وأثبتها الأوكامي نيكول أوريسم. بشكل أو بآخر، أعاد جاليليو إنتاج برهان أوريسم البياني عن مبرهنة متوسط السرعة (ارجع إلى الشكل ٥-١)، لكنه لم ينسب الفضل لأيٍّ من سابقيه من العصرأوسطيين.

انطلق جاليليو بعد ذلك ليحسب مسارَ المقذوفات، مثل قذائف المدافع، وذلك عن طريق دراسة الحركتين الأفقية والرأسية للمقذوفات على نحوٍ منفصل. واقترح أن المسافة المقطوعة في الاتجاه الأفقي لكل وحدة زمنية (بغض النظر عن مقاومة الهواء) هي تقريبًا ثابتة ومتناسبة مع الزمن (من ٠ إلى ٤ ثوانٍ في الشكل ٩-٢). وفي الاتجاه الرأسي تتسارع حركة سقوط المقذوف حسب مربَّع الزمن (من ١ إلى ٤ ثوانٍ في الشكل ٩-٢)، الأمر الذي يُعَد نتيجةً لمبرهنة متوسط السرعة. وحين جمع بين الأمرين بيانيًّا، حصل على شكل قطعٍ مكافئ. وهذا الشكل الهندسي مثيرٌ للاهتمام، لأنه وكمثل الشكل البيضاوي أو القطع الناقِص قطاع مخروطي ويمثِّل إشارةً على وجود رابط بين الحركة الأرضية ومدارات كيبلر السماوية البيضاوية. لكن إما أن جاليليو لم يقرأ قط كتابَ كيبلر الذي بعنوان «علم الفلك الجديد» أو أنه تجاهله، وقد نُشِر هذا الكتاب قبل نحو ثلاثين عامًا من ظهور كتاب جاليليو «محادثات وإثباتات رياضية متعلقتَين بعلمَين جديدَين» في عام ١٦٣٨؛ لذا فإن جاليليو لم يرَ ذلك الرابط قط، وذلك على قدرِ ما ينتهي إليه عِلمنا.

على الأرجح أن أهم قانون اكتشفه جاليليو معروض في أحد أوضح قطع النثر العلمي التي كُتبت على مرِّ التاريخ. ففي كتابه «حوار حول النظامَين الرئيسيَّين في الكون» أوضح جاليليو ما هو معروف اليوم بالثبات الجاليلي، وذلك بأن طلب منَّا كما فعل الأوكامي أن نتخيَّل أننا على متن سفينة ليشرح لنا الطبيعة النسبية للحركة.

> أغلِق على نفسك مع صديق لك في المقصورة الرئيسية أدنى سطح سفينة كبيرة، وخُذ معك ذبابًا وفراشات وحشرات طائرة صغيرة أخرى. وخُذ معك أيضًا وعاءً كبيرًا به ماء وبعض السمك؛ وعلِّق زجاجةً تُفرِغ الماء منها قطرةً بقطرة في وعاءٍ واسع تحتها. مع وقوف السفينة ساكنة، لاحِظ بدقةٍ كيف تطير الحشرات الصغيرة بسرعة متساوية نحو كل جوانب المقصورة. ويعوم السمك بلا اكتراث في جميع الاتجاهات؛ وتسقط قطرات الماء في الوعاء أسفل الزجاجة؛ وإذا ما



شكل ٩-٢: تحليل جاليليو لحركة المقذوف.

> أردتَ أن تلقي لصديقك بشيء، فلستَ بحاجة لأن تلقيه بقوة في أحد الاتجاهات دون الأخرى، كون المسافات متساوية؛ وإذا ما قفزتَ بقدميك معًا، فإنك تقطع مسافات متساوية في كل اتجاه تقفز فيه. عندما تلاحِظ كل هذه الحركات بدقة ... اجعل السفينة تبحِر بأي سرعة تريد، ما دامت الحركة موحَّدة ولا تتذبذب بين السرعة الشديدة والبطيئة. لن تلاحظ أدنى تغيير في كلٍّ ما ذكرت، ولن تستطيع أن تحكم من خلاله ما إن كانت السفينة تتحرَّك أم تقف ساكنة.

لا شك أن جاليليو كان على علمٍ بويليام الأوكامي؛ حيث ذكره عدة مرات في المسوَّدات المبكِّرة لمحاضراته، بل كتب يقول إنَّ «الحركة ليست سوى حالة من التدفق» تمامًا كما وصفها الأوكامي.[6] لكن جاليليو أخذ المبدأ وقطع به شوطًا أكبرَ من ويليام الأوكامي أو من تَلَوْنَه، وذلك بتشديده على أن قوانين الفيزياء واحدة للملاحِظ، بغض النظر عن حركته الموحدة، وهو المبدأ المعروف بالثبات الجاليلي.

وهذا المبدأ يُعدُّ مثالًا رائعًا على قدرة القوانين الرياضية على التبسيط. تخيَّل الصعوبةَ التي تجدها في محاولة حساب كل الحركات المعقَّدة للأجسام الموجودة على سفينة جاليليو من منظور الشاطئ. كلُّ لوح خشب أو مسمار أو برغي أو حبل سيتحرَّك، ومِن ثَمَّ

سيتطلَّب الأمر أن تكون له سرعة متجهة خاصة به. لكن إذا ما صعدت إلى متن السفينة فستجد أن كل شيء على السفينة تقريبًا ثابت، وهذا من إطار أبسط للقصور الذاتي. وحدَها الفراشات والسمك والأشخاص والأشرعة وما إلى ذلك هي ما تتحرَّك، ومِن ثَمَّ بحاجة لأن نجد لها أسبابها. وبتلخيص آلاف عديدة من أشكال الحركة في حَفنة قليلة منها، يصبح فهمنا للعالم أكثرَ بساطة وسهولة.

وكمثل بوريدان وأوريسم وكوبرنيكوس من قبلِه، ألقى جاليليو بنظريته للنسبية فيما يتعلَّق بالسماء ليقول بأن الأجسام السماوية يمكن أن تستمر في التحرُّك إلى الأبد من دون احتكاك. كما دفع بأن الدوران اليومي للأرض «بسيط وطبيعي أكثر» من دوران الشمس والقمر والكواكب والنجوم حول الأرض كل يوم.[7] وذهب جاليليو يشدِّد على أن حجَّته كانت «مدعومة بحكمة أرسطية حقيقية للغاية تعلِّمنا أن «استخدام المزيد من الأسباب يعدُّ هباءً حين يكون القليل منها كافيًا».»[8] في واقع الأمر، لم يقُل أرسطو تلك الكلمات قط، لكنها كانت شكلًا مختلفًا شائعًا لشفرة أوكام متداولة في إيطاليا خلال حِقبة «المذهب الجديد».

في عمله بعنوان «محادثات وإثباتات رياضية متعلقتَين بعلمَين جديدَين»، كان العِلمان الجديدان اللذان يقصدهما جاليليو هما عِلم السكون أو الاستاتيكا — وهو عِلم تحمُّل المواد للضغط — وعِلم الحركة أو ما نطلق عليه اليوم الكيناماتيكا. عرض هذا الكتاب قانون القصور الذاتي، وقانون سقوط الأجسام ووصفَه لحركة المقذوفات التي تتخذ شكل القطع المكافئ. وبصفة عامة يُعَد هذا الكتاب أحدَ أهم الكتب في تاريخ الفيزياء بأكمله.

على الرغم من — بل قد يكون بسبب — إقامته الجبرية في منزله بمدينة آرتشتري بعد محاكمته، استمرت شهرة جاليليو في النمو في سنواته الأخيرة. وقد زاره العديد من طلابه السابقين من بينهم إيفانجليستا تورتشيللي الذي اخترع البارومتر أو مقياس الضغط الجوي فيما بعد. وصل تورتشيللي حين كان جاليليو يعاني الحمى وخفقان القلب وظلَّ مع العالِم الجليل حتى مات في يوم ٨ من شهر يناير لعام ١٦٤٢. في ذلك الوقت كان ثمَّة عالِم صاعد آخر في آرتشتري وهو روبرت بويل، يأمُل في زيارة جاليليو. لكن للأسف، وصل في يوم ٩ من شهر يناير فكان متأخرًا بيوم واحد.

الفصل العاشر

الذرات والأرواح العارفة

> حين يلجأ السيد هوبز إلى ما يمكن للرب فِعْله (والذي يحظى كلانا بأسبابٍ وجيهة للاعتراف بطلاقة قدرته) فإن الجدل حول الأجسام السائلة ليس من شأنه تحديدُ ما يمكن للخالق القدير فِعْله، بل إلى ما فَعَله بالفعل.
>
> روبرت بويل، ١٦٦٢[1]

في عام ١٦٥٤، استضاف اثنان من العلماء جمهورًا من المثقفِين في أحد منازل شارع هاي ستريت في أكسفورد، في مكانٍ ليس ببعيد عن كلية أكسفورد الجامعية. أحد المتحدثين وهو روبرت بويل (١٦٢٧–١٦٩١) ابن السابعة والعشرين كان عضوًا في الجمعية المعروفة باسم «الكلية الخفية»، والتي كانت تضم شخصياتٍ لامعة أخرى كعالِم الرياضيات والفلك كريستوفر رين، والكاتب جون إيفيلين، وعالِم الاقتصاد والفيلسوف ويليام بيتي. كان بويل طويل البنية ووسيمًا، ذا وجنتين مرتفعتين وأنف مستقيم وذقن بارزة، وكان يتحدَّث بلهجة أيرلندية قوية يتخلَّلها تلعثم بين الحين والآخر. أما مساعِده روبرت هوك (١٦٣٥–١٧٠٣) ابن التاسعة عشرة، فكان أقصر منه بكثير وذا بنية جسدية محدودبة ونحيلة لكن قوية، ووجه نحيف شاحب. ورغم أنه لم يكن مشهورًا على نحوٍ كبير في هذه المرحلة من حياته، فإن هوك سيصبح فيما بعدُ شهيرًا عن جدارة بفعل تحقيقه الكثيرَ من الإنجازات الثورية، كابتكاره للمجاهر التي استخدمها في اكتشاف الطبيعة الخلوية للحياة. وكان هذان العالِمان من الشخصيات البارزة فيما سيُعرَف فيما بعدُ باسم عصر التنوير.

في تلك المناسَبة، كان بويل قد جمَع أعضاء الكلية الخفية ليعرض عليهم عدةَ تجارب. وأغلب تلك التجارب تضمَّنت مضخةَ تفريغ، بإمكانها طرد كل الهواء تقريبًا الموجود في

حجرة زجاجية كبيرة. في داخل الحجرة، أدخل روبرت شمعةً وأظهر أن لهب الشمعة أخذ يضطرب قبل أن ينطفئ فيما كان الهواء يُسحَب إلى خارج الحجرة. هنا برهن بويل وهوك وللمرة الأولى في التاريخ على أن النار تحتاج إلى الهواء. ثم بعد ذلك أدخلا ساعةً لها صوت طقطقة مرتفع. حين كانت الحجرة مليئة بالهواء كان بإمكان الحضور سماعُ طقطقتها بسهولة، لكن بينما كان يتم تفريغ الهواء، أخذ صوت طقطقتها يخفُت حتى لم يَعُد بالإمكان سماعه. ولم يَعُد صوت الطقطقة إلا حين سمح هوك بدخول الهواء إلى الحجرة ثانية. وبهذا يكون العالِمان قد برهنا على أن الصوت يحتاج إلى الهواء. أكمل بويل تجاربَه بأن وضع مغناطيسًا وبوصلة بداخل الحجرة وبالبرهنة على أنهما لم يتأثَّرا، أظهر بويل أن القوة المغناطيسية يمكن أن تمرَّ خلال الفراغ على عكس الصوت.

كل تجربة من التجارب السابقة كانت كافيةً وحدَها لإبهار الحاضرين لديه وإدهاشهم. لكن الحضور دُهِشوا أكثرَ بفعل التجربة التالية التي أجراها العالِمان. اشتملت التجربة على أنبوب زجاجي طوله عدة أقدام أدخلا فيه ثِقَلًا من الرصاص وريشة. وبعد تفريغ الهواء، قلب بويل بسرعة الأنبوبَ الزجاجي. وراقب الحضور في ذهول بينما كان الثِّقَل الرصاصي والريشة يسقطان عبْر الأنبوب معًا. لقد برهن بويل — كما تنبَّأ جاليليو — على أن كل الأجسام تسقط بالمعدَّل نفسه تمامًا حين تكون في فراغ. من الواضح أن أرسطو كان مخطئًا بالفعل.

وُلِد روبرت بويل في مدينة ليزمور بمقاطعة ووترفورد في أيرلندا لأسرة ثرية اكتسبت ثروتَها بكدِّها، ولم يستمتع بويل بأسلوب الحياة المدلَّل المعتاد لدى الطبقة الأرستقراطية البروتستانتية الإنجليزية أو الأنجلو أيرلندية. إذ كان والده — الذي أصبح أول إيرل لكورك — يتَّبع أسلوب التقشُّف في تربية أطفاله، فكان يرسل أطفاله إلى الريف حتى يصبحوا معتادِين على «حمية غذائية خشنة لكن جيدة، وعلى حب الهواء العليل». لم تلائم هذه الحياة الريفية الخشنة الابن الرابع عشر للإيرل، والذي كان في معظم الأحيان مريضًا يعاني «الحمى، وخللًا في الرؤية ومغْصًا وكَسَحًا، وشللًا، وتبوُّلًا مصحوبًا بالدم ... واعتلالًا كلويًّا». وألقى روبرت بلائمة هذه الآلام على أنه كان مجبرًا على «التجوُّل عبْر بعض الجبال الموحِشة» في الليل بصحبة «مرشد مخمور غير مؤهَّل» بعد السقوط من فوق ظهر الجواد. كما اكتسب بويل أيضًا لعثمةَ حيث روى معلِّمه بعد ذلك — وهو الفرنسي إيزاك ماركومبس — كيف أنه «كان يتلعثم ويتأتئ كثيرًا حتى ... بالكاد كان بإمكاني فهْمه، وبالكاد كنت أتمكَّن من كتم ضحكي».[2] ربما كان من غير المثير للدهشة

أن طفولةَ روبرت في أيرلندا لم تحبِّبه إلى مكان مولده، والتي وصفها لاحقًا بأنها «بلد بربري».

في عمر الثامنة، أُرسِل روبرت إلى إنجلترا ليتلقى تعليمه المبكِّر بكلية إيتون في بيركشاير. لم يتمكَّن الصبي من النجاح في المدرسة العامة الإنجليزية، وسرعان ما كان يعاني «الكآبة».[3] فأُرسِل هو وأحد إخوته الكبار إلى خارج البلاد ليصبحا تحت رعاية السيد ماركومبس من جنيف. ويبدو أن روبرت كان سعيدًا للغاية بعيشِه مع آل ماركومبس. كانت الأسرة كثيرةَ السفر وقدَّمت للفتيَين نوعَ التعليم الإنسانوي الذي كان يُعتقد أنه يليق بشاب إنجليزي نبيل. بضرورة الحال كان ذلك يتضمَّن الحجَّ إلى إيطاليا للتمتُّع بجمال بقايا الحضارة الكلاسيكية التي ألهمت الإنسانويين. في تلك الرحلة كان روبرت اليافع يأمُل أن يلتقي ببطله جاليليو العجوز في مدينة آرتشتري، لكنه وصل متأخرًا بيوم.

رغم ما قدَّمه آل ماركومبس من رعاية تامة للفتيَين، ظلَّ بويل مضطربًا. إذ يروي في مذكِّراته (التي كتبها متبعًا أسلوبَ تلك الحِقبة بصيغة ضمير الغائب، فاختار لنفسه اسمَ فيلاريتوس تيمنًا بقديسٍ بيزنطي طُوِّبَ لكرمه غير المعهود) كيف أنه ابتُلي بالشكوك الدينية بدرجةٍ من الشدة كانت كافية لأن يفكِّر في الانتحار. وحين كان في الثالثة عشرة من عمره تقريبًا، استيقظ يومًا على عاصفةٍ رعدية عاتية جدًّا لدرجةِ أن «كل قصفة رعد كان يسبقها ويتبعها ومضاتٌ برق شديدة السطوع والتتابع، حتى إن فيلاريتوس بدأ يتخيَّل أنها مباغتاتُ تلك النار التي لا بد أنها ستلتهم العالَم». وأقسم روبرت إنه لو نجا من تلك الليلة فسيكون متدينًا ومحبًّا للرب أكثر.[4] كان هذا الصراع بين التشكك الديني والورع هو أحدَ الصراعات التي عاناها روبرت خلال حياته. فحتى وهو على فراش موته، أقرَّ بأنه كان يتعرَّض لهجوم مستمر من «أفكارٍ تجديفية».[5]

بحلول ذلك الوقت، كانت إنجلترا في خِضم الحرب الأهلية. وإحدى أولى المناوشات في تلك الحرب كانت تمردًا أيرلنديًّا في عام ١٦٤١ حين كان روبرت في الرابعة عشرة من عمره. تسلَّم هو وأخوه خطابًا من والده يحمل أخبارًا تقول إنه محاصَر في قلعته؛ الأمر الذي جعله معزولًا عن مصدر ثروته. وأُبلِغ روبرت وأخوه في الخطاب أن مخصصاتهما من المال قد أوقِفَت. ولكونه رجلًا أبيًّا، منع الإيرل الصبيَين من العودة إلى إنجلترا في مثل هذه الظروف المتدنية، ونصحهما عوضًا عن ذلك بأنهما إما أن يعودا إلى أيرلندا أو أن يلتحقا بالجيش الإنجليزي الذي يقاتل في هولندا. وقد أمدَّ آلُ ماركومبس أخو روبرت

الأقوى منه، فرانسيس، ابنَ التاسعة عشرة بما يكفي من المال ليعود إلى أيرلندا، أما روبرت الذي كان يتمتَّع بحساسيةٍ أكبرَ فاختار أن يعود إلى جنيف مع آل ماركومبس.

استمر الصراع عدة سنوات قبل أن يُجبَر الإيرل الذي كان قد بلغ من العمر الخامسة والسبعين على أن يتخلَّى عن ملكيَّته، ثم مات بعد ذلك بوقت قصير. واعتبر روبرت أن المنع من العودة إلى إنجلترا انتهى بموت أبيه؛ لذا في عام ١٦٤٤، أي حين كان في السابعة عشرة من عمره، وبعد أن رهن مجوهراتٍ أعطاه إياها آل ماركومبس، سافر عبر فرنسا واشترى لنفسه حقَّ عبور إلى إنجلترا. ومن بورتسموث، سافر إلى سانت جيمس في لندن ووصل إلى المنزل الذي كانت أخته كاثرين تعيش فيه مع أطفالها الأربعة، والتي تخلى عنها زوجها المبذِّر الفيكونت رينلا. ولدى وصول روبرت، احتضنت كاثرين أخاها «بفرحة وحنان أكثرِ الأخوات محبةً لأخيها»[6] فتوطَّدت علاقة وثيقة بينهما استمرت طوال حياتهما.

وفيما كان روبرت في لندن، اكتشف أنه كان يملك حينها ضيعةَ ستولبريدج في مقاطعة دورسيت. كان لتلك الضَّيعة تاريخٌ غير سعيد. إذ ورِثها مالكها السابق بعد أن أبلغ عن والده بأنه يقوم بـ «ممارسات غير طبيعية»، وهي كناية من القرن السابع عشر عن إقامة علاقات جنسية مِثلية. وبعد شنق والده، باع الابن الضَّيعة للإيرل. ولدى وفاة الإيرل، انتقلت ملكيةُ الضَّيعة إلى روبرت؛ وهناك نصَّب نفسه ليعيش حياةَ نبيل ريفي.

لكن تلك الضَّيعة كانت قد دُمِّرت بفعل الحرب. فكان قصر مالك الضَّيعة خرِبًا ومعظم الأكواخ مهجورة. ومن خلال تقطيع الأشجار الموجودة في الضَّيعة وبيعها، تمكَّن روبرت من جمْع الأموال اللازمة لتعيين عمال أعادوا بناء القصر واستصلحوا المزارع لتعود إلى الإنتاج. وفي وقت فراغه كان روبرت يكتب بانتظام إلى أخته، وكانت خطاباته في معظم الأحيان تشتمل على ملاحظات بها حكاياتٌ أخلاقية بسيطة في جميع أنواع الموضوعات، ومنها «عن تناول المحار» أو «عن إلقاء اللحم إلى الكلب» أو «عن ركوب الخيل والغناء والخفيف من المزاح». تداولت كاثرين حكاياته مع أصدقائها المؤثِّرين، وتبيَّن أن تلك الحكايات محبوبة بما يكفي لتُنشَر في كتابٍ بعنوان «تأمُّلات عرَضية حول موضوعات عدة». وقد تبيَّن أن تلك الحكايات محبوبة للدرجة التي جعلت جوناثان سويفت يهجو أسلوب روبرت في كتابه «تأمُّلات عن عصا مِكنسة. وفقًا لأسلوب وطريقة تأمُّلات المحترم روبرت بويل: «حين رأيت ذلك، تنهَّدت وقلت في نفسي: من المؤكَّد أن الإنسان هو عصا مِكنسة».

مع ذلك، ورغم القيمة الأدبية لتلك الحكايات والتي هي محل جدال، فإن الدخل المادي الإضافي سمح لروبرت أن يجهِّز مختبرًا في ستولبريدج يمكن له فيه أن يشبع حبَّه

للعلم التجريبي المحبَّب لدى الإنسانويين، وهو الخيمياء. فكتب يقول إن «السرور الذي يعتريني بداخل مختبري يجعلني أتخيَّل أنه جنةٌ من نوعٍ ما». ورغم أننا نعلم اليوم أن الخيمياء هي في معظمها ترهات، فإنها وفَّرت الأدوات اللازمة للبحث في طبيعة المواد ومِن ثَمَّ فإنها سابقة لعلم الكيمياء الحديث. فعمليات كالتقطير وفصل الأحماض والقواعد وطرائق تنقية المعادن هي كلُّها عمليات تطوَّرت في البداية في مختبرات الخيمياء. لكن وإلى جانب العلم التجريبي السليم، اشتملت الخيمياء على الخوض في طوفان من الهراء الباطني والتركيبات الغريبة بمكوِّنات في غاية الغرابة وتعليمات عجيبة من قبيل «بدِّل البحر والمرأة وقُضَّهما بين الشتاء والربيع».[7]

لكن روبرت بويل اليافع كان مفتونًا وكتب بحماسة عن دودة على «ساحل سومبريرو» تتحوَّل في البداية «إلى شجرة ثم إلى حجر». وروى قصةً مدهشة عن «كيميائي أجنبي» التقى أثناء سفره عبْر فرنسا هو وراهبٌ حليق الرأس في نُزُلٍ زعم أنه يملك «أرواحًا رهنَ إشارته وبإمكانه جعْلها تظهر متى أراد، وسأله إن كان باستطاعته أن يحتمل رؤيتهم في هيئةٍ مريعة». وحين ظلَّ الكيميائي صامتًا فإن الراهب «قال بضع كلمات فدخل أربعة ذئاب إلى الحجرة وأخذوا يجْرون حول الطاولة التي كانا يجلسان إليها لمدة ليست بالقصيرة». بدت الذئاب «في غضب شديد» و«شعر أن شعر رأسه انتصب واقفًا، فطلب من الرجل الآخر الآن أن يبعِدها، وقد فعل بعد أن قال بضع كلمات أخريات». بعد هذا الرعب استمتع الرجلان «بمأدبة حضرتها غانيتان جميلتان حسَنتا الملبَس ... ورغم أنهما أغرتاه فإنه ظلَّ نائيًا بنفسه؛ لكنه طرح على الفتاتين أسئلةً عن حجر الفلاسفة، «و... كتبت إحداهما ورقة قرأها و... فهمها».» لكن وكما يحدث كثيرًا في مثل هذه المواقف «اختفت الغانيتان وكذلك الورقة، وما كان مكتوبًا في الورقة انمحى من ذاكرته حتى إنه لم يتمكَّن قط من أن يتذكَّره».

يبدو كل هذا في يومنا هذا خياليًّا، لكن في القرنين السادس عشر والسابع عشر، كان الكثير من أعظم المفكِّرين في أوروبا يسعون من أجل فهم هذه المكوِّنات الغريبة والتعليمات الخفيَّة المبهمة والحكايات الطويلة. ولو كان روبرت قد ظلَّ معتمدًا فقط على الخيمياء لظلَّ شخصية مغمورة في تاريخ «علمٍ» بائد. لكنه أصبح عوضًا عن ذلك شخصية محورية في تاريخ العلم الحديث. إذ يعكس تحوُّله من متصوِّف إلى عالِمٍ انسلاخَ العلم الحديث من جذوره الصوفية والإنسانوية، ويوضِّح قيمةَ شفرة أوكام في استئصال الهراء.

الآلهة والذهب والذرَّات

بحلول القرن السابع عشر، كانت الفلسفة الإنسانوية في أزمة. إذ كان الكثير من الفلاسفة المؤثِّرين يعترضون على ثقة الفلاسفة الإنسانويين في الإبداع الإنساني، يائسين من المتاهات الباطنية التي أدَّت بنا إليها. وكمثل ويليام الأوكامي، استقطر رينيه ديكارت، وهو أعظم فلاسفة القرن السابع عشر (والذي وُلِد قبل جيل واحد من روبرت بويل في عام ١٥٩٦)، الفلسفةَ المعاصرة إلى أساسها الأدنى، مشدِّدًا على أنه ومن خلال هذا المنهج «سأرتِّب أفكاري بترتيبٍ يمكِّنني من الارتقاء شيئًا فشيئًا وخطوةً بخطوة إلى معرفة الأشياء الأكثر تعقيدًا، وذلك من خلال البدء بأبسط الأشياء وأسهلها معرفة».[8] كما شدَّد ديكارت في روحِ شكِّه الديكارتي الشهيرِ على أنه «بغيةَ السعي إلى الحقيقة، من الضروري أن نشكَّ بقدرِ ما يمكننا لمرة واحدة في حياتنا في كل شيء». وبتجاهله لقرون من التكهُّن بشأن وجود كيانات تفوق الحاجة، وصل ديكارت إلى يقينين اثنين، هما وجوده — «أنا أفكِّر إذن أنا موجود» — ووجود المادة.

وكمثل الاسمانيين من قبله، أنكر ديكارت أن مظهر الأشياء يتوافق هو وأيُّ شكل من الحقيقة المادية. وقد أشار في ذلك إلى مثال الشمع الذي يغيِّر مظهره تمامًا حين يتعرَّض للحرارة إلا أنه يظلُّ الشمعَ نفسَه. فخلَص إلى أن مظهر المادة إنما هو وهمٌ خلقته حواسُّنا. وأقرَّ ديكارت بصفة واحدة من صفات المادة، وهي التمدُّد، الذي يَعني احتلال حيِّز من الفراغ؛ وشدَّد على أن المادة وحدَها هي ما تتمتَّع بصفة التمدُّد. وقدَّم زعمه الشهير الذي يقول: «أعطني صفتَي التمدُّد والحركة وسأنشئ الكون». وأكَّد كذلك أن الكون بأكمله عبارة عن «ملاء» يعجُّ فقط بالجزيئات.

وتعود فكرة الملاء هذه إلى أرسطو، الذي اقترح أنه ليس ثمَّة شيء يُدعى الحيز الفارغ، حيث إن الأشياء المادية وحدَها هي ما تتمتَّع بصفة التمدُّد. يبدو هذا في غاية الغرابة اليوم، لكنه مثال جيد على النقطة التي تناولناها حين تحدَّثنا عن نماذج النظام الشمسي الكثيرة التي كان على كيبلر اختيار أحدِها، والتي تتمثل في أن هناك عددًا كبيرًا وربما لا نهائيًّا من النماذج المتسقة منطقيًّا والتي قد تناسب الحقائقَ المتاحة. على سبيل المثال، إحدى الحقائق التي ذكرها أرسطو كانت ملاحظته أن الماء لن يتدفَّق من أنبوب ضيِّق إذا ما كان الطرَف العلوي له مسدودًا. هذه الملاحظة دفعت الفيلسوف القديم أن يقول قوله الشهير بأن «الطبيعة تمقُت الفراغ»؛ في هذه الحالة، الفراغ الذي سيتشكَّل إذا ما تدفَّق الماء بالفعل من أنبوب مسدود ليخلِّف وراءه فقط حيِّزًا فارغًا.

تبدو أعمال السباكة مكانًا غريبًا لبدء نظريَّة لها مدلول كوني، لكن الفيلسوف القديم استخدم أيضًا كرةَ الطبيعة الواضح لوجود فراغ ليرفض إحدى أكثر الأفكار غيبيةً من العالم القديم، وهي الذريَّة. قبل قرن أو نحو ذلك من ولادة أرسطو، كان الفيلسوف ديموقريطوس قد زعم أن المادة تتكوَّن من ذرات أو جسيمات صغيرة جدًّا تتحرَّك بشكل عشوائي. وقد أدرك أرسطو أن النظرية الذريَّة تتعارض وقولَه بأن «كل شيء يتحرَّك فهو يتحرَّك بفعل شيء آخر»، وذلك بما أنه لا يوجد شيء في الفراغ يمكن أن يتسبَّب في تحريك الذرَّات. لذا رفض أرسطو فكرة الذريَّة من أجل نظريته البديلة التي تقول بأن المادة تتجزَّأ بشكل لا نهائي وتملأ كل الكون، مكوِّنة ما عُرِف باسم الملاء. فلقَّن طلابه أن الكون بأكمله عبارة عن ملاء تنزلِق فيه الأشياء — كالطيور أو الناس أو السهام أو السمك أو الكواكب أو الهواء أو الماء أو الأثير — بعضها بجوار بعض، تمامًا كما ينزلق السمك عبْر الماء. وشدَّد أرسطو على أن أي فجوة في ذلك الملاء تُملأ في الحال، تمامًا كما يُسحب الماء عائدًا إلى الفراغ الذي يتكوَّن في الأنبوب المسدود. وطبقًا لهذه النظرية، فإن الفراغ يُعدُّ من المستحيلات المنطقية.

اعترض فلاسفةٌ آخرون على فكرة الملاء الخاصة بأرسطو. إذ أقام الإبيقوريون — الذين أسَّس فكرهم إبيقور في أثينا حوالي عام ٣٠٦ قبل الميلاد — أنظمتَهم الفلسفية بأكملها على فكرة الذريَّة. كما دعم الشاعر الروماني لوكريتيوس الفكرة نفسَها. وقد توغَّل الجدل بين فكرتَي الملاء والذريَّة إلى العالَم الأوروبي العصرأوسطي؛ حيث أخذ المدرسيون بصفة عامة جانبَ أرسطو. فقد وجد جان بوريدان أدلةً على فكرة الملاء في ملاحظته التي تقول إن من «المستحيل» فصْلَ جانبَي الكير إذا كانت فتحته مسدودة: «ليس بمقدور عشرين جوادًا حتى أن تفعلها لو شدَّ كل عشرة جياد طرَف الكير من كل جانب». لكن ويليام الأوكامي كان ميالًا نحو فكرة الذريَّة، مؤكِّدًا أن «المادة والشكل قابلان للتجزئة، ولكلٍّ منهما أجزاؤه المميَّزة في المكان والموضع». بل إنه تكهَّن حتى بأن عمليتَي الغليان والتكثيف سببُهما إعادةُ ترتيبٍ أجزاء الماء أو ذراته.[9]

هجَر الفلاسفة الإنسانويون من عصر النهضة فكرَ أرسطو بصورة كبيرة لصالح معلِّمه أفلاطون، ونزع معظمهم إلى الانحياز لصف فكرة الذريَّة، خاصةً أن التفاعل بين الذرَّات يمكن أن يقدِّم أساسًا منطقيًّا لفهم السِّحر الطبيعي. على سبيل المثال، زعم الخيميائيون أن بالإمكان إعادةَ ترتيب الذرَّات بطرق مختلِفة بما يقدِّم عناصرَ التراب والهواء والماء والنار، والتي ظنُّوا أن المعادن كالزئبق والصفيح والذهب تتكوَّن منها. في

عقل الخيميائي، كان الاختلافُ بين المعادن الرخيصة (تلك التي ليست بذهب ولا بفضة) والذهب هو ببساطة مسألةَ إعادة ترتيب ذرَّاتها؛ الأمر الذي يمكن أن نصل إليه من خلال استخدام النوع الصحيح من السِّحر الطبيعي. وهذا يفسِّر حُلمهم بتحويل المعادن الرخيصة إلى ذهب. علاوة على ذلك، اعتقد أتباع باراتسيلزوس أن مسارات الكواكب تؤثِّر على حركة الذرَّات بداخل الجسم مما يسبِّب الاعتلال أو الصحة، وأن تلك النزعة يمكن أن تتأثَّر بالأجسام الأرضية المتجانسة. لذا إن كنت حزينًا لأنك تعاني تحت وطأة كوكب كئيب، كزحل مثلًا، فقد تتلقَّى نصيحة بأن ترتدي رداءً أصفر اللون وسوارًا ذهبيًّا وربما تستمتع بتذوُّق النبيذ من كأس ذهبية؛ حيث إن هذه الأجسام متجانسة مع الشمس المبهِجة أكثر. بالطبع، قد يجدي هذا العلاج نفعًا كبيرًا. فالنماذج المتسقة ذاتيًّا — وإن كانت خاطئة — يمكن أن تجدي نفعًا في أغلب الأحيان بما يكفي لإقناع السذَّج بأنهم على المسار الصحيح.

استمر ضجيجُ الجدال بين فكرة الذريَّة وفكرة الملاء الأرسطية لأكثر من ألفيَّتين من الزمن، وهو يوضِّح بدقةٍ كيف أنه من الممكن دائمًا أن تنشأ عدةُ نماذج متسقة ذاتيًّا للكون، وربما عدد لا نهائي منها، وذلك في ظل أي مجموعة محدَّدة من البيانات. وكما سنرى، فإن أحد الأدوار الأساسية التي يلعبها نصْل أوكام هو التدقيق في النماذج المتنافسة لعالمنا.

قبِل ديكارت بحجَّة أرسطو الخاصة بفكرة الملاء، إلا أنه تبنَّى فكرةَ أن المادة أتت في شكل جزيئات وإن كانت قابليتها للتجزئة لا نهائية. وفي خطوة كبيرة نحو العلم الحديث، جرَّد ديكارت أيضًا جزيئات مادته من أيِّ تجانُس إنسانوي مع الكواكب أو السحر. أصبحت تلك الأشياء كياناتٍ تفوق الضرورة في كون ديكارت المادي. عوضًا عن ذلك، كانت المادة بالنسبة إلى ديكارت تتكوَّن فقط من جزيئات متناهية الصِّغر تتحرَّك في دوَّامات دائرية تكوِّن الهواء والماء والتراب والنار، والنباتات والحيوانات. خلق الرب الجزيئات وأعطاها الدفعةَ الإلهية الأولى الخاصة بها؛ لكن بعد ذلك، أصبحت حركاتها آلية بصورة تامة. وشدَّد ديكارت على أن الجسم البشري حتى كان «مجرد تمثال أو آلة مصنوعة من التراب». معظم أفكار ديكارت الفلسفية، ومنها فكرةُ الذريَّة الآلية، مشروحة في كتابه «العالَم»، الذي نُشِر في غضون الوقت الذي وُلِد فيه روبرت بويل، فيما نُشِر كتابه «مقال عن المنهج» عام ١٦٣٧، ونُشِر كتاب «مبادئ الفلسفة» عام ١٦٤٤.

وعلى الرغم من أنها لاقت معارضةً شديدة من الفلاسفة الإنسانويين الكاثوليك، فإن الفلسفة الآلية الديكارتية تناغمت مع المنظور الاسماني والتجريبي واللوثري أكثرَ

والذي شاع في البلدان البروتستانتية. بحلول العام ١٦٤٩، كانت معظم أعمال ديكارت قد تُرجِمت إلى الإنجليزية، فسهر رواد الثورة العلمية الناشئة يدرسونها بنهمٍ شديد. لكن خشيَ الكثير من الفلاسفة واللاهوتيين الإنجليز أن يكونَ كونُ ديكارت الذرِّي والحتمي يبعُد عن الإلحاد خطوةً واحدة فقط. وقد تحقَّقت مخاوفهم هذه في فلسفة توماس هوبز، الشهير بلقب «وحش مالمزبري»، الذي نشر كتابه السيئ السمعة «لفياثان» في العام ١٦٥١، حين كان روبرت بويل في الرابعة والعشرين من عمره.

كان هوبز (١٥٨٨–١٦٧٩) من أتباع المذهب الاسماني، وقد أخذ مذهب ويليام الأوكامي الاختزالي إلى ما هو أبعد مما تجرأ عليه أحد من قبله.[10] فقبِل مفهوم الأوكامي عن الرب الذي لا سبيل لمعرفته، وقبِل كذلك باستبعاده الكليَّات وشدَّد على أن مفاهيمَ مثل الخير والشر ليس لها أيُّ أساس فلسفي أو منطقي. ومِثل ديكارت، شدَّد هوبز على أن الكون يتكوَّن فقط من جزيئات آلية، لكنه ذهب إلى ما هو أبعد مما ذهب إليه سابقه الفرنسي بكثير، وذلك إلى حد استبعاد الاختلاف بين ما هو طبيعي وما هو خارق للطبيعة، فزعم أن كلًّا من الرب والروح يتكوَّنان كالإنسان من المادة.

طبقًا لهوبز، كان هناك عالَم واحد فقط. في كتابه الشديد التأثير «لفياثان»، دفع هوبز بأن الشيء الوحيد الذي نستطيع معرفته عن ربٍّ مطلَق القدرة هو أنه «العلة الأولى لكل علة»، وأن الإنسان مجرد شكل آخرَ من أشكال الذرَّات التي تتحرَّك. وأشار إلى أنه من دون ربٍّ كريمٍ مُنعِمٍ يرعانا فإن الحياةَ محفوفة بالصراعات والعنف و«الانعزال والبؤس والبغض والفظاظة وقِصَر الأجل».[11] وحاجج على أسسٍ اسمانية بأن الخير والشر مجردُ اسمين سميناهما للأشياء التي «ننزِع إليها وننفِر منها».[12] ومِن ثَمَّ حثَّ البشريةَ على أن تهجُر الصلاة لربٍّ غيرِ مكترثٍ ولا سبيل لمعرفته، وأن نستخدم عوضًا عن ذلك الإبداعَ الإنساني والسياسة والعلم لإنشاء «أمَّة» تسعى إلى إرساء النظام وتقليص المعاناة وإنماء السعادة. وكما خمَّن الفيلسوف والعالِم السياسي الأمريكي مايكل ألين جيليسبي: «وهكذا سيُمكِّن العلمُ كما فهِم هوبز البشرَ من النجاة والازدهار في العالَم الفوضوي والخَطِر للرب الاسماني».[13]

أثارت أفكارُ هوبز الذعرَ بين أوساط الفلاسفة المحافظين، من بينهم أعضاء مجموعة تُعرف باسم أفلاطونيِّي كامبريدج، والفيلسوف وعالِم اللاهوت هنري مور (١٦١٤–١٦٨٧) على وجه الخصوص. قبِل مور وزملاؤه في كامبريدج بالخطوط العريضة للكون الآلي الخاص بديكارت وهوبز، إلا أنهم شدَّدوا على أن الآلية وحدَها غير كافية لتفسير

ظواهرَ كالجاذبية أو الجذب المغناطيسي أو كره الطبيعة للفراغ. عوضًا عن ذلك، دفع هؤلاء بالبُعد عن المنهج الاسماني والعودة إلى الواقعية الأفلاطونية التي تتخلَّل فيها «روح الطبيعة» غير مرئية الكون بأكمله، فتتصرَّف فيه وكأنها وكيل الرب للحرص على أن تسير الأحداثُ بما هو وفق خطَّته الإلهية.[14] حينها لم يكن الدِّين مستعدًّا بعدُ ليبعِد قبضتَه عن العلم.

الفراغ القوي

أذِن انتهاء الحرب الأهلية الإنجليزية بعودة المِلكيَّات والضَّيعات الأيرلندية إلى حوزة عائلة بويل. وحين وجد نفسه ثريًّا مرة أخرى، قرَّر روبرت في العام ١٦٥٤؛ حيث كان في السابعة والعشرين من عمره الآن، قرَّر أن ينتقل إلى بيئة أكسفورد الأكثر تحفيزًا على الصعيد الفكري. وهناك أنشأ مختبرًا آخرَ وعيَّن روبرت هوك.

بحلول ذلك الوقت تقريبًا، كان بويل قد سئم المعرفةَ الغامضة التي تقدِّمها الخيمياء ونظرياتها التي تبرَّم منها، فقال بأنها «كريشِ الطاووس، تعطي مظهرًا رائعًا لكنها ليست صلبة البنية، ولا تحقِّق نفعًا». ورغم أنه كان لا يزال يبدي اهتمامًا بالخيمياء لازمه طوال حياته، فإن أبحاثه التجريبية تحوَّلت بعيدًا من تلك «الدودة الغريبة على ساحل سومبريرو» والأشياء الخفيَّة الأخرى ذات الصلة إلى العلم الأكثر جديَّة. ربما كان مصدر حافزه في ذلك هو أخته كاثرين جونز فيكونتسة رينلا. كانت كاثرين امرأة استثنائية ذات اهتماماتٍ عميقة بالعلم والفلسفة والطبيعة والسياسة وكانت صديقة للشاعر جون ميلتون والكاتب والموسوعي صامويل هارتليب. وقد كتب روبرت إلى آل ماركومبس يصِف لهم كيف تعرَّف على الكثير من «الأدباء» في منزل أخته في لندن وتعرَّف كذلك على أعضاءٍ من جمعية «الكليَّة الخفيَّة».

تبنَّى بويل كنقطةِ بداية لعلمه فكرةَ ديكارت عن الكون الآلي برُمَّته، لكنه فزِع كمسيحي متديِّن من صورة هوبز المادية التي رسمَها عن الرب. وكان الحل الذي قدَّمه جماعة أفلاطونيِّي كامبريدج مرفوضًا من جانبه أيضًا؛ حيث إن «روحًا من الطبيعة» التي اقترحوها تشير إلى الوثنية. لكنه بدلًا من أن يتورَّط في الجدال الفلسفي الذي كان يستعِر من حوله، حذا بويل حذوَ بطلِه من الطفولة جاليليو؛ وذلك بأن كرَّس نفسه لتنفيذ تجاربَ مصمَّمة بعناية من شأنها أن تحسِم الجدل.

وكان الشيءُ الذي ألهب جذوةَ اهتمامه هو شيئًا يقع من الجدل بين فكرتَي الذرية والملاء محلَّ القلب. كان ذلك الشيءُ هو مسدَّسًا هوائيًّا بسيطًا. إذ وصَف في أحد خطاباته كيف أنه أصبح مشغولًا بمسدس هوائي «بإمكانه أن يرسل رصاصة … ذات قوة يمكن أن تقتل رجلًا على بُعد ٢٥ أو ٣٠ خطوة» إلا أنها تنطلق «بفعل ضغط الهواء فقط». قد تبدو المسدسات الهوائية محفِّزًا بعيدَ الاحتمال لتحقيق ثورة علمية، لكن وعلى النقيض من الظلام السيميري أو حجر الفلاسفة، فإنها على الأقل أشياءُ حقيقية. كان بإمكان بويل أن يشتري واحدًا ويفكَّ أجزاءه ويكتشف كيف يعمل ويوضِّح آلية عمله لأخته. وما هو أكثر أهمية، وعلى عكس مزاعم الخيمياء غير القابلة للتحقُّق منها، فإن بالإمكان التحقق منه. وبعد مئات السنين، سيذكُر عالِم الأحياء من القرن العشرين بيتر ميدوَّر أن العلم هو «فن القابل للحل».[15] كان بويل قد وجد مشكلةً قابلة للحل.

كان ثمَّة الكثير من مصادر الإلهام لمنهج بويل التجريبي. في كتابه بعنوان «الأورجانون الجديد» الذي نُشِر عام ١٦٢٠، دفع الفيلسوف والسياسي المحنَّك الإنجليزي فرانسيس بيكون (١٥٦١–١٦٢٦)، انطلاقًا من وجهة نظر اسمانية، بأن السبيلَ الوحيد إلى المعرفة العلمية هو إجراء العديد من الملاحظات الفردية المسجَّلة بعناية والتي يمكن أن تُصنَّف وتُعمَّم بهدف الوصول إلى استنتاجات، في الطريقةِ التي تُعرف اليوم باسم الاستقراء. لم يكن بيكون بالطبع أولَ شخص يستخدم الحججَ الاستقرائية. إذ أقام ويليام الأوكامي على سبيل المثال حجَّة استقرائية قبل ثلاثة قرون،[16] حين كتب أنه «يمكن لكل كائن بشري أن ينمو، ولكل حمار أن ينمو، ولكل أسدٍ، وهكذا دواليك بالنسبة إلى حالات أخرى بعينها؛ ومِن ثَمَّ يمكن لكل حيوان أن ينمو». لقد قدَّم كلٌّ من ويليام الأوكامي وبيكون منطقَ الاستقراء بديلًا للمنطق القياسي الأرسطي، الذي قوَّضه استبعادُ الاسمانيين لمبدأ الكليَّات.

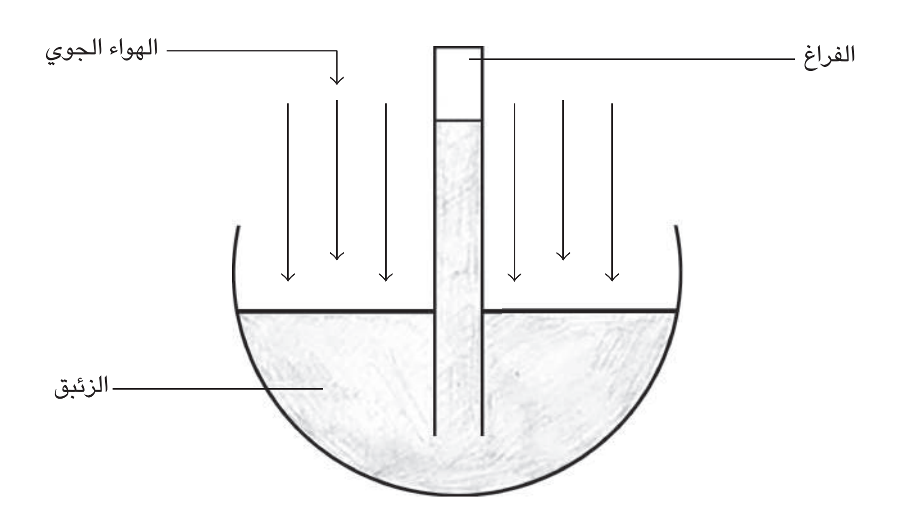
كانت فكرة روبرت بويل هي أن منهج بيكون عن الاستقراء حين يُضاف إلى تجارب جاليليو التي أجراها بعناية، يمكن أن يُصبح المحرِّك الذي نستخلص بفضله استنتاجاتٍ سليمة من التجارب المعملية المتكرِّرة. وعلى عكس جاليليو الذي خلَّف قدرًا ضئيلًا من التفاصيل عن تجاربه، قدَّم روبرت بويل سردًا شديدَ التفصيل لأدواته التجريبية ولمنهجه الدقيق، فدوَّن التفاصيلَ حتى وصل به الأمر إلى تدوين درجة حرارة المكان أو طقس اليوم، وأضاف إلى ذلك بياناته الأولية وتحليلاته. ولهذا السبب، رُشح بويل مثل جاليليو للقبِ أبي العلم التجريبي.

كان جاليليو قد حقَّق شهرةً كعالِم فيزياء وفلك. وكانت اهتمامات بويل أكثرَ عملية وكيميائية، ومصدرَ إلهامه في ذلك هو عمله في مجال الخيمياء. فبدلًا من أن يفحص بويل مسارَ المقذوف المنطلِق من مسدس هوائي، التفَت روبرت إلى سبب انطلاقه. يضرب المسدس الهوائي بفعلِ مكبس يضغط غرفة يملؤها الهواء فقط. وإطلاق الزناد يطلق الضغط الداخلي، مما يسمح للهواء المضغوط في الغرفة بدفع المكبس على طول فوَّهة المسدس، ومِن ثَم تنطلق الرصاصة بسرعة معيَّنة من داخل المسدس. والسؤال الذي شغل بالَ بويل هو كيف «لضغط الهواء فحسب» أن يُطلِق رصاصة من مسدس هوائي؟ أو بالأحرى، ما هو ذلك الشيء الخفي، المسمَّى بالهواء؟ كانت مثل هذه الأسئلة محلَّ غموض كبير في القرن السابع عشر، لكن على النقيض من حجر الفلاسفة، كان لها إجابات.

نقطة انطلاق بويل كانت دراسةً بدأها تلميذ جاليليو إيفانجليستا تورتشيللي (١٦٠٨–١٦٤٧). تلقى جاليليو قبل عام من وفاته تقاريرَ عن مشكلة مثيرة للفضول ذكرَها عمال مناجم يستخدمون مضخات ميكانيكية لإزالة الماء من مهاوي المناجم المغمورة بها. كانت تلك المضخات تعمل من خلال تراجع مكبس في أسطوانة تتصل بمصدر الماء. وبسحب المكبس، يُشفَط الماء إلى الحجرة استجابة — كما كانوا يظنون — إلى كره الطبيعة للفراغ الذي كان سيتشكل في الغرفة لولا ذلك. لكن اكتشف عمالُ المناجم أن ليس بإمكانهم أبدًا رفع الماء لأكثر من ٣٣ قدمًا، بغض النظر عن كدْحهم في سحبِ المضخَّة. وطلبوا مساعدة جاليليو الذي حثَّ تورتشيللي على النظر في الأمر.

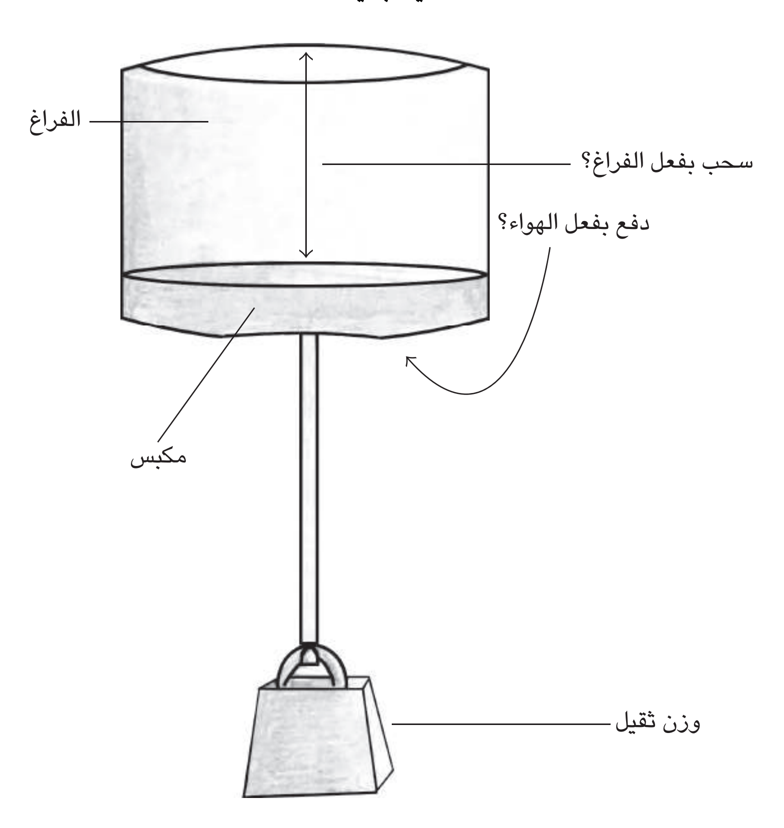
كانت مضخَّات عمال المناجم كبيرة وثقيلة. فملأ تورتشيللي أنبوبًا زجاجيًّا طويلًا بالماء وقلبَه في صحن — متأثرًا في ذلك بمنهج جاليليو في إعادة إنتاج أوجهِ المشكلة الأساسية في بيئة معملية خاضعة للتحكم الدقيق. لكن ولكي يعيد إنتاج عدم قدرة عمال المناجم على رفع عمود الماء، كان يتحتَّم أن يكون طول الأنبوب ١٠ أمتار، فكان الأنبوب يرتفع عن سقف منزله في بيزا. تسبَّب هذا في قدر كبير من الذعر بين جيرانه الذين كانوا يخشون أنه يمارس أعمال السِّحر، ما دفع تورتشيللي إلى استبدال الزئبق بالماء، فاحتاج الزئبق إلى عمود بطول متر واحد فقط لتحقيق التأثير نفسه، كون الزئبق أثقلُ من الماء بأربعة عشر ضِعفًا. قلبَ تورتشيللي أنبوب الزئبق في عام ١٦٤٣، فكان الطرَف العلوي للأنبوب مغمورًا في صحن من الزئبق (انظر الشكل ١٠-١). وحيث كان العالِم الإيطالي يتوقَّع أن مبدأ مقت الطبيعة للفراغ سيمنع الزئبق من التدفُّق خارج الأنبوب، فإنه ذُهِل حين لاحظ أن مستوى الزئبق قد انخفض بالفعل ما سمح بوجود بوصات

عديدة من الفراغ فوق السطح السائل، وهذا على النقيض من العقيدة التي سادت لِما يقارب الألفي عام. وحين سمِع عالِم الرياضيات والفيزياء والفيلسوف الفرنسي بليز باسكال (١٦٢٣–١٦٦٢) بتجارب تورتشيلي، أخذ أنبوبَ تورتشيلي — كما كان يُسمى آنذاك — إلى قمة جبل بوي دي دوم في وسط فرنسا، ولاحظ أن ارتفاع عمود الزئبق قد انخفض أثناء تسلُّقه الجبل، لكنه زاد مرة أخرى أثناء نزوله. واقترح هو وتورتشيلي أن ارتفاع عمود الزئبق يزيد ليس بفعلِ كره الطبيعة للفراغ بداخل الأنبوب، ولكن بفعل ثِقَل الهواء الجوي خارجه. وثِقل الهواء الجوي يقِل، ومِن ثَمَّ يصبح أخف في الارتفاعات الأعلى، مما يسبِّب انخفاض عمود الزئبق. واخترعا معًا البارومتر.



شكل ١٠-١: تجربة تورتشيلي الخاصة بأنبوب الزئبق.

ذُهِل بويل من تجاربِ تورتشيلي وباسكال. فألهماه إنشاءَ مضخاته وصِمَاماته المعدنية والزجاجية العبقرية الخاصة به. كان النهج الأساسي هو تفريغَ الهواء في وعاء كبير بما يكفي لتُجرى تجربة بداخله. حينها سيُدخل هو أو هوك شموعًا أو ساعات أو حشرات أو أسماكًا أو حيوانات لينظر كيف ستتعاطى مع الفراغ؛ الأمر الذي يعيدنا إلى عروضه التجريبية أمام جمعية الكليَّة الخفيَّة في عام ١٦٥٤.



شكل ١٠-٢: عرْض بويل الشهير عن قدرة الفراغ الواضحة على رفع أوزان ثقيلة.

في أشهرِ تجاربه على الإطلاق، ضخَّ بويل كلَّ الهواء خارج قارورةٍ قاعدتُها تتصل بمكبس من خلال صِمام. وحين فتح الصِّمام (بحيث يصبح المكبس الآن ملامسًا للفراغ)، فغَر فاه المتفرِّجين «في اندهاش بالغ» حيث بدا أن الفراغ يسحب المكبس، حتى حين أضاف إليه ثِقلًا وزنُه مائة رطل (انظر الشكل ١٠-٢). المشاهدون «لم يفهموا كيف يمكن لمثلِ هذا الثِّقل أن يرتفع من تلقاء نفسه كما بدا لهم». وقد أبدى اللورد ماثيو هيل رئيسُ قضاة إنجلترا إعجابَه «بفراغ بويل القوي».

أكَّدت هذه التجربة تجاربَ تورتشيللي وباسكال بشكلٍ كبير. وفي واقع الأمر في نهاية المطاف، لم تكن الطبيعة تكره الفراغ. لقد أظهر بويل في تجربةٍ أخرى بالفعل أنه لم يكن هناك أي مقاومة على الإطلاق في وجود فراغ بداخل غرفة مفرَّغة من الهواء. وكمثل

تورتشيلي، شدَّد بويل على أن كره الطبيعة الظاهر للفراغ إنما هو مجرد ثِقَل الهواء الخارجي. وبدلًا من أن يسحب الفراغ المكبس بداخل الغرفة الفارغة، كان الهواء الخارجي هو ما يقوم بالدفع.

أدرك بويل أن تجاربه على طبيعة الهواء كانت ذات صلة بالجدل القائم بين فكرتَي الذريَّة والملاء. فاقترح أن «مرونة» الهواء يمكن أن تتوفَّر من خلال «كومة من الأجسام الصغيرة المكوَّم بعضها على بعض، كما قد يتمثَّل في كتلة من الصوف». على نحو بديل، وعوضًا عن نموذج ثابت، قد يتكوَّن الهواء من تريليونات الجسيمات الصغيرة التي تتحرَّك في عشوائية و«يدور بعضها حول بعض، بحيث يسعى كلٌّ منها إلى التغلب على الجسيمات الأخرى جميعها». كان هذا يشبه كثيرًا نموذجَ ديكارت عن «الدوَّامات الدائرية» بين الجسيمات لكن مع الفراغ عوضًا عن الملاء. وقد شدَّد بويل على أن الملاء قد أصبح الآن كيانًا يفوق الضرورة.

شرح بويل تجاربَ أنبوب الفراغ الخاصة به في كتابه الثوري الذي يحمل عنوان «تجارب فيزيائية ميكانيكية جديدة، تتعلَّق بمرونة الهواء وتأثيراته» الذي نُشِر عام ١٦٦٢. وقد تسبَّب ذلك الكتاب في إثارة ضجة كبيرة. إذ كتب الفيلسوف هنري باور يقول: «لم أقرأ في حياتي كلها من قبلُ بحثًا كهذا؛ إذ تعاطى مع كل شيء بصورة حاسمة ومثيرة للفضول، وأُجريت التجارب فيه بتروٍّ ودقة شديدَين، واستُخرجت الاستنتاجات فيه على قدرٍ كبير من الوضوح والنزاهة».[17] وكمثل جاليليو، كتب بويل بالعامية — الإنجليزية في هذه الحالة — وليس باللاتينية الدراسية التي يفضِّلها معظم معاصريه. كما كانت أعماله العلمية أيضًا خالية من التكهُّن الفلسفي أو اللاهوتي الذي كانت تَغرَق فيه الكتابات العلمية السابقة له. عِلاوة على ذلك، وعلى عكس تقارير جاليليو المقتضِبة عن تجاربه، كانت تقارير بويل كثيفة التفاصيل وموضَّحة برسومات للمضخات والقوارير الزجاجية والصِّمامات والأدوات الأخرى، إضافة إلى تدوين دقيق لملاحظاته. كان أعضاء الكليَّة الخفية يدافعون بحماس عن نهج بويل. وفي عام ١٦٦٠، تبنَّت الجمعية قانونًا رسميًّا لها وعضوية تتطلَّب مصاريفَ اشتراك تبلغ شلنًا في كل أسبوع. وبعد أسبوع من ذلك، عبَّر تشارلز الثاني عن اهتمامه بالجمعية، وفي عام ١٦٦٢ منحها امتيازًا ملكيًّا فأصبحت الجمعية الملكية، وكان روبرت بويل أحد أعضائها المؤسِّسين.

لم يكن الجميع مسرورًا بتجارب بويل. إذ كان هنري مور، أحدُ أفلاطونيِّي كامبريدج، مذعورًا منها. كان مقتنعًا بأن عِلم بويل الآلي «المتوحِّش» بمثل سوء فلسفة هوبز الخالية

من إلهٍ، وكان يَعُدُّه بابًا من أبواب الإلحاد. وفي كتابه بعنوان «دليل الميتافيزيقيا» المنشور عام ١٦٧١، شدَّد مور على أن الفراغ هو ما يقوم بكل عملية السَّحب بالفعل؛ لأن الفراغ يعجُّ «بشيء يختلف عن المادة، قد تكون روحًا أو كيانًا غير مادي ... جوهرًا عارفًا قادرًا على تحريك المادة وتعديلها وتوجيهها». وبدلًا من أن تكون ذرات الهواء هي ما يسحب المكبس إلى داخل الغرفة من أجل إغلاق الفراغ المكروه، فإن ما يفعل ذلك هو اليدان الأثيريتان لتلك «الروح العارفة». وزعم مور أن تجارب بويل أثبتت السَّحب الذي تقوم به «روح من الطبيعة» تعمُّ الفضاء بأكمله وليس الدفع الذي قامت به آلية مادية لا دور فيها للإله.[18]

يوضِّح ردُّ بويل على مور في عمله «خطاب هيدروستاتيكي أثارته اعتراضات العالِم الدكتور هنري مور» وجهةَ نظر غاية في الأهمية للمسار المستقبلي للعلم. إذ يقرُّ في بادئ الأمر أن ليس بإمكانه دحضُ وجود «الروح العارفة» عند مور، لكنه يستطرد فيشدِّد على أن «الظواهر التي أرنو إلى شرحها يمكن أن تُحلَّ ميكانيكيًّا، أي بالتأثيرات الميكانيكية للمادة، من دون اللجوء لمقتِ الطبيعة للفراغ أو فئات أساسية أو أي كيانات غير مادية أخرى». كان بويل هنا يرفض فكرة مور عن «الروح العارفة» أو فكرة «كره الطبيعة للفراغ» ليس على أساس أنها قد دُحِضت، بل فقط لأنها أصبحت الآن غيرَ ضرورية في تفسير الحقائق التجريبية. إذ أصرَّ على أن أي «روح عارفة» هي كيان يفوق الحاجة، ومِن ثَمَّ ينبغي استبعاده من العلم: شفرة أوكام.

كيفية تحديد الفرضيات الجيدة والمتقنة

كان بويل في صميمه شغوفًا بالتجريب، لكن خلافه مع مور أجبره على الدفاع عن نظرياته؛ الأمر الذي أدَّى به إلى صياغة معايير يفصِل بها الأفكار الجيدة عن الأفكار السيئة. وأعتقد أن هذه المعايير تُعَد إسهامًا مهمًّا في العلم الحديث شأنها شأنُ طرقه التجريبية. وقد اقترح بويل مبادئ عشرة أساسية يمكن من خلالها فصلُ «الفرضيات الجيدة والمتقنة» عما أطلق عليه «النظريات المغالية».[19] ولأسباب ستتضح فيما بعد، سأقسِّم هذه المبادئ إلى مجموعتين.[١]

المبادئ الأولى هي الأشهر على الأرجح. يصرِّح بويل بأن النظرية الجيدة ينبغي أن تكون قائمة على الملاحظات. هذا بالأساس هو منهج بيكون المسمَّى بالمنطق الاستقرائي، والذي يختلف عن منهج الاستنباط الأقدم القائم على البدء من نظريةٍ ما، كأن نقول بأن

كل البشر فانون. إلا أنَّ دعمَ بويل لمنهج الاستقراء أدخله في خلاف مع «وحش مالمزبري» توماس هوبز، الذي يرى أن للنظرية أولويةً على البيانات. والخلاف بين هوبز وبويل هو مركزُ اهتمام الدراسة التي أجراها كلٌّ من ستيفن شابن وسايمون شافر عام ١٩٨٥ عن التاريخ الاجتماعي للعلم بعنوان «لفياثان ومضخة الهواء».

أما ثاني مبادئ بويل وثالثها فيقومان على أن النظرية ينبغي أن تكون منطقية وغير مناقضةٍ لنفسها. هذا بالطبع من السمات الأساسية للعلم، لكنه ليس قاصرًا عليه. فأعمال السباكة منطقيةٌ وغير مناقضة لنفسها وما إلى ذلك؛ كما هي مبادئ تصفيف الشعر أو الطبخ أو نسج السلال أو الفلسفة.

ويشدِّد رابع مبادئ بويل وخامسها على أن النظريات ينبغي أن تكون مبنية على أدلةٍ كافية، وأن النظريات المتقنة «ينبغي أن تمكِّننا من التنبؤ بالأحداث التي ستشكِّل الأساس الذي ستتدفَّق منه التجارب المتقنة». كان بويل هنا يوصي بأن النظريات ينبغي أن تقدِّم تنبؤات («التنبؤ بالأحداث») التي يمكن التحقُّق منها من خلال «تجارب متقنة»، أي من خلال التجريب. وهذان المعياران هما الضابط الذي نستخدمه اليوم في الحكم على معظم النظريات العلمية لنرى إن كانت ستصمد أم ستسقط. وكما شدَّد عالِم الفيزياء من القرن العشرين ريتشارد فاينمان «لا يهم كم هي جميلة أو حتى بسيطة نظريتك، إن لم تقدِّم تنبؤات صحيحة، فهي خاطئة».

ورغم أن هذين المعيارين أساسيان في العلم، فإنهما غير مقصورين عليه ولا يحدِّدانه. فالحكم على المدَّعى عليهم في قفص الاتهام بالبراءة أو بالذنب يجري بناءً على الأدلة. والطاهي يتذوَّق وصفتَه الجديدة من خلال «تجارب متقنة»، تمامًا كما يختبِر المزارع أو البستاني البذور الجديدة في حديقته أو حقله. حوالي عام ٢٦٠٠ قبل الميلاد، أجرى المهندس المعماري المصري القديم المسئول عن تصميم هرم ميدوم «تجربةً متقنة» على فرضيته عن بناء الأهرامات ليرى أنها خاطئة حين انهار البناء (انظر الشكل ١٠-٣). وقد حوَّل نجاح مهندسي المعمار اللاحقين في بناء الأهرامات فرضياتِ بنائهم إلى نظريات عاملة تمثِّل أساس أبنية كالهرم الأكبر في الجيزة، الذي صمد لأكثر من ألفي عام. لقد وُضِعت مبادئ الزراعة والتعدين والعمارة وكل أساس آخر من أساسات الحضارة الحديثة وحُسِّنت على نحوٍ مشابه على مدى ألفي عام من خلال مزيج من المنطق والملاحظة والتنظير وعدد لا يُحصى من «التجارب المتقنة» غير الموثَّقة.



شكل ١٠-٣: وضع الفرضيات قيد الاختبار من خلال «تجارب متقنة».

على الأرجح أن الأكثر أهميةً من ذلك هو أن أيًّا من المبادئ مما ذكرت أعلاه ليس كافيًا لضمان تحقيق تقدُّم علمي. انظر على سبيل المثال لعالِم فلكٍ يحاول في عام ١٦٠٠ تقريبًا أن يختار من بين نماذج بطليموس أو كوبرنيكوس أو تايكو براهي عن النظام الشمسي. فكلٌّ منها كان مبنيًّا على مبادئَ رياضية أو نظريات منطقية، وقد صمد كلٌّ منها أمام الكثير من «التجارب المتقنة»؛ وذلك عن طريق تقديم توقُّعات تتفق منطقيًّا وبصورة كبيرة مع الملاحظات الفلكيَّة. إذن كيف نفرِّق بينها؟

لحسن الحظ، إحدى أدوات المنطق التي شُحِذَت في عالم العصور الوسطى بقيت خلال عصري النهضة والإصلاح وأصبحت تلعب دورًا محوريًّا في الثورة العلمية التي قامت في القرن السابع عشر: ألا وهي البساطة. كتب بويل في شرحِه لمعياره التالي، وهو المعيار السادس لتحديد النظريات الجيدة والمتقنة: «القسم الأكبر من العمل الذي يقوم به الفيلسوف الحقيقي هو تقليصُ المبادئ الحقيقية للأشياء إلى أصغر عدد ممكن منها، من دون أن يجعلها منقوصة». لم يحدِّد بويل مَن يكون ذلك «الفيلسوف الحقيقي» لكنه في فقرةٍ أخرى يشير «إلى القاعدة المتبناة بصفة عامة عن الفرضيات التي تقول باللاتينية entia non sunt multiplicanda absque necessitate (أي، لا ينبغي الإكثار من الكيانات لما يتجاوز الضروري)».[20] لستَ بحاجة أيها القارئ لأن تكون على معرفة باللاتينية لترى حدَّ شفرة أوكام في هذه العبارة.

بطريقة أو بأخرى، تبحث كلُّ المعايير المتبقية الخاصة ببويل عن حلول بسيطة. إذ يصرِّح مبدؤه السابع بأنه «لكي نصيغ فرضيةً ما، ينبغي أولًا أن نتأكد من أنها مفهومة على نحوٍ واضح». فالنظريات المفهومة تميل إلى أن تكون بسيطة؛ وبالعكس، فعادةً ما تُصبح الأخطاء في النظريات المعقَّدة — كنظريات الخيمياء — واضحةً حين نشرحها

بأبسط المفاهيم الممكنة. وقد أشار ديكارت إلى نقطةٍ مشابهة لهذه، فشدَّد على أن «مفهومًا ما ينبع من ضوء المنطق وحدَه لهو أكثر يقينًا من الاستنتاج نفسه؛ لأنه أبسط منه».[21]

ويأتي المبدأ الثامن عند بويل بشفرة التقتير الخاصة به. فهو يؤكِّد أن النظرية الجيدة «لا تفترض شيئًا ...». هذا المبدأ في أساسه إعادة صياغة لشعار الجمعية الملكية باللاتينية، الذي يُترجَم عادةً إلى «لا تثقْ بما يقوله أحد». في الأساس، كان بويل يؤكِّد هنا أن العلماء ينبغي لهم أن يبدءوا نظرياتهم من أبسطِ القواعد القائمة على الحقائق الراسخة فحسب، عوضًا عن معتقداتهم.

يشدِّد المبدأ التاسع عن البساطة لدى بويل على أن النظرية الجيدة ينبغي لها ألا «تناقض أيًّا من الظواهر المعروفة عن الكون». لاحظ أن بويل لا يصرُّ على أن النظرية الجديدة لا يمكن أن تناقض نظريةً راسخة. لقد أجاز بويل هذا بالفعل عن طريق تأكيده أن العلماءَ ينبغي لهم ألا يفترضوا شيئًا. بدلًا من ذلك، إنه يشير إلى «الظواهر»، التي تمثِّل بالنسبة إليه حقائقَ لا ينبغي معارضتها. لا يتضح على الفور أن هذه القاعدة هي شكل آخر من أشكال شفرة أوكام، لكن هذا يصبح جليًّا إذا ما طرحنا السؤال: كم عدد مجموعات القوانين التي يعمل بها الكون؟ سيؤكِّد معظم العلماء أن الكون يعمل بمجموعة واحدة فقط، على أساس البساطة. لكن هذه القناعة حديثة نسبيًّا. على سبيل المثال، اعتقد أرسطو ومعظم أتباعِه العصرأوسطيين أن الأجسام السماوية تتحرَّك وفقًا لمجموعةٍ من القوانين تختلف عن تلك التي تحكم الأشياء على الأرض. واعتقد الخيميائيون أن مبادئ السِّحر تعمل فقط في مختبراتهم وليس في مطابخهم. وبالمثل، لا ينكر الصوفيون ولا المنجِّمون ولا الأطباء التجانسيون قوانينَ الفيزياء، لكنهم يزعمون أن هناك مجموعةً إضافية من القوانين تعمل حين يلقون بتعاويذهم أو يحضِّرون وصفاتهم أو يقدِّمون توقعاتهم. يقف مبدأ بويل التاسع ضد انتشار النظريات البديلة المتسقة ذاتيًّا لكن تتعارض مع حقائق أخرى في العالم. ويؤكِّد بويل وجودَ أصغر مجموعة منفردة من القوانين فيما يتعلق بالكون بأكمله: ألا وهي شفرة أوكام.

وكان عاشر مبادئ بويل وآخرها هو «من بين كل الصفات الحسنة، ينبغي أن تكون [النظرية] هي الأبسط: أن تكون خالية على الأقل من كلِّ ما هو غير ضروري». كان هذا آخرَ أسلحة بويل في مواجهة «النظريات المغالية» للمعرفة الخفية لصالح «النظريات الجيِّدة والمتقنة» للعلم: إنه شفرة أوكام. وقد شدَّد بويل مثل الأوكامي على أن العلماء ينبغي أن يختاروا أبسطَ النظريات التي تلائم بياناتهم.

اعتمد العلم الذي دعمته الجمعيةُ الملكية على معيار البساطة لدى بويل، ومن هناك اندمج في المنهج العلمي الحديث. ويظل هذا المعيار معنا إلى اليوم، رغم أننا قليلًا ما نعترف بأصله أو ندركه حتى. اسأل أيَّ عالِمٍ ما إن كان سيدعم نظرية معقَّدة تفسِّر بياناته في حين أن هناك نظريةً بسيطة تفعل ذلك أيضًا. قد يتوقَّف لحظةً ليفكِّر، ويسألك أسئلة إضافية، مثل إن كنت تقصد بذلك كلَّ بياناته؛ لكن ما دمت تجيب: «أجلْ، كل البيانات المتاحة»، فسيعترف بأنه سيختار دائمًا أبسطَ التعليلات التي تفسِّر كلَّ بياناته. هذا هو ما يفعله العلم، وليس أي طريقة أخرى من طرق التفكير في العالَم. للعلمِ صناديقُ أدواتٍ كثيرة، لكن له شفرة واحدة فقط.

في عام ١٦٦٢، وضع بويل مبادئه حيزَ التنفيذ ليخرجَ بأحد أول قوانين العلم الحديث. فباتباعه لأولِ مبادئه الذي يقول بأن الفرضيات الجيدة والمتقنة مبنيةٌ على الملاحظات السليمة، أجرى بويل سلسلة من التجارب التي قاسَ فيها حجم الغاز (الهواء) المحصور تحت عمود من الزئبق، كما في تجربة تورتشيلي. فوجد أن حجم الغاز يتقلَّص حين يزيد من ارتفاع عمود الزئبق. وبعد مئات الملاحظات، استخدم بويل مبدأ الاستقراء ليضع قانونًا يتَّسق مع مبدئه العاشر عن الفرضيات الجيدة والمتقنة، وهو «من بين كل الصفات الحسنة، ينبغي أن تكون [النظرية] هي الأبسط: أن تكون خالية على الأقل من كلِّ ما هو غير ضروري». إذ ينص قانونه عن الغاز على أن حجم الغاز في ظل درجة حرارة ثابتة يتناسب عكسيًّا مع مستوى ضغطه.[٢] ما الذي قد يكون أبسطَ من ذلك؟

في القرون التالية، اكتُشِف قانونان آخران خاصان بالغاز. في عام ١٧٨٧، اكتشف الفرنسي جاك شارل ربَّان المناطيد أن حجم الغاز تحت ضغطٍ ثابتٍ يتناسب مع درجة حرارته. وبالجمع بين قانونه وقانون بويل، افترض أن بإمكانه جعْل الغاز أقلَّ كثافة بتسخينه. وفي يوم ٢٧ من أغسطس لعام ١٧٨٣، أطلق منطاد هيدروجين من حيث ينتصب برج إيفل اليوم في باريس. وطار المنطادُ عبْر المدينة وإلى الريف الفرنسي يتبعه فُرسانٌ على أعنةِ خيولهم حتى هبط المنطاد في النهاية في حقل، فهاجمه الفلاحون المذعورون مسلَّحين بالسكاكين والمعازِق. وبعد عَقدين من الزمن، اكتشف الكيميائي الفرنسي جوزيف لوي جي–لوساك آخرَ قوانين الغاز الثلاثة، وذلك ببرهنته على أن ضغط الغاز عند ثبات الحجم يتناسب مباشرة مع درجة حرارته.

كل قانون من قوانين الغاز الثلاثة بسيط، بل إنه حتى بسيط بدرجة مثيرة للملل، إلا أنها معًا تفسِّر عددًا لا حصر له من الحقائق: بدءًا بانطلاق الطلقة من مسدس بويل

الهوائي وطريقة عمل البارومتر، وإطلاق النار من بندقية، وحركة الغطاء في برادك أثناء غليان الماء به، وضغط الهواء في إطار سيارتك، وديناميكيات الكواكب العملاقة الغازية وحتى تطوُّر النجوم ومصير شمس مجرَّتنا. كما تصِف أيضًا سلوكَ البخار، ومِن ثَمَّ فإنها تمثِّل أساسَ الثورة الصناعية التي قامت على الطاقة البخارية.

في عام ١٦٦٨، وحين كان بعمر ٤١، غادر روبرت بويل أكسفورد صوب لندن حيث أمضى بقيةَ حياته يعيش مع أخته الحبيبة كاثرين في شارع بال مال. وفي البيت بعد التالي للبيت الذي كانا يسكنان فيه كانت تعيش نيل جوين، عشيقةُ تشارلز الثاني. وقد عيَّنت كاثرين روبرت هوك بغرض بناء مختبر في الجزء الخلفي من أرضها حتى يتسنَّى لروبرت أن يستكمل عملَه التجريبي. وماتت كاثرين يوم ٢٣ من شهر ديسمبر عام ١٦٩١. وتبِعها روبرت بعد أسبوع واحد بعد أن «تسبَّب حزنه على موتها في نوباتِ تشنُّج أودت بحياته».[22] وقد أزيل منزلهما في عام ١٨٥٠ ويحل محلَّه الآن أحدُ المصارف. وعلى باب البيت المجاور لوحةٌ زرقاء مكتوب عليها إهداء تقول كلماته: «في منزلٍ بهذا الموقع عاشت نيل جوين من ١٦٧١ وحتى ١٦٨٧». هذا، وليس هناك نصب تذكاري في شارع بال مال عن جارها الذي طرد الأشباح من الفراغ ليفسح المجال أمام عالَم أكثر بساطة.

لقد ساعد روبرت بويل في ترسيخ مبادئ العلم التجريبي الحديث ومدَّ تأثير شفرة أوكام إلى داخل المادة. وتشديده على الحاجة إلى تطبيق معيار البساطة ساعد في ترسيخ تلك الشفرة كأداة علمية أساسية. لكن وبالرغم من التبسيطات التي قام بها كلٌّ من كوبرنيكوس وكيبلر وجاليليو وبويل وآخرين غيرَهم، ظلَّ الفهم العلمي في القرن السابع عشر مفرطَ التعقيد. وبصفة خاصة، كان عالَماه — عالَم السماء وعالَم الأرض — محكومَين بقوانين مختلفة. وسيكون التحدي التالي هو إيجاد مجموعة منفردة من القواعد تنطبق على الكون بأكمله.

هوامش

(١) الترتيب الذي أعرِض فيه لهذه المبادئ ليس ترتيبَ بويل.

(٢) بل الأكثر بساطة من ذلك، يمكن التعبير عن القانون من خلال المعادلة $P_1V_1 = P_2V_2$ علمًا بأن حاصل ضرب الضغط P وحجم الغاز V في الزمنين 1 و2 ثابت: فإذا ما زاد أحدهما، لا بد أن ينقص الآخر.

الفصل الحادي عشر

مفهوم الحركة

ثلاثة علماء يدخلون مقهًى

بعد اجتماعٍ عُقِد في كلية جريشام على الضِّفة الشمالية لنهر التيمز مساء يوم الإثنين الموافق ٢٤ من شهر يناير لعام ١٦٨٤، دخل روبرت هوك مقهًى محلِّيًّا بصحبة اثنين من زملائه في عضوية الجمعية الملكية، وهما إدموند هالي وكريستوفر رين.

حدث هذا بعد ثلاثين عامًا من عرض كلٍّ من هوك وبويل تجاربَ الفراغ الثورية أمام أعضاء الكلية الخفية في أكسفورد. منذ ذلك الحين، شغل هوك منصبَ المشرف التجريبي للجمعية الملكية وأجرى العديدَ من التجارب الرائدة، منها البرهنةُ على الضغط الشعري، واكتشاف التنوُّع المذهل في الحياة الميكروبية، وذلك بعد صنعه لمجاهره الخاصة به. وكان العالِمان اللذان بصحبته بارزَين بنفس القدْر. إذ كان كريستوفر رين عالِم الرياضيات والتشريح والفلك والهندسة ابنُ الثانية والخمسين هو أحدَ الأعضاء المؤسِّسين للجمعية الملكية إلى جانب بويل. وبعد أن دمَّر حريق لندن الكبير معظمَ أجزاء المدينة في عام ١٦٦٦، عُيِّن روبرت هوك مسَّاحًا، فاستعان هو بصديق طفولته كريستوفر رين للشروع في إعادة بناء المدينة، بما في ذلك كاتدرائية القديس بولس المهيبة. وكان هالي هو الأصغر من بين ثلاثتهم؛ حيث كان ابنَ ثمانية وعشرين عامًا، لكنه كان قد رسَّخ لسمعةٍ له كونه أحدَ أمهر الرجال في البلاد. حين كان طالبًا جامعيًّا لم يتخرَّج بعدُ في أكسفورد، كان هالي قد نشر أوراقًا بحثيةً عن القمر والبقع الشمسية. وفي عام ١٦٧٦، هجر هالي محاضراته ليبحرَ إلى جزيرة سانت هيلينا في جنوبي المحيط الأطلنطي ليشاهد كسوفَ الشمس وخسوف القمر وليضعَ دليلًا للنجوم في سماء الجنوب. في يومٍ تنبَّأت به قوانينُ

كيبلر وهو السابع من نوفمبر لعام ١٦٧٧، أبدى هالي إحدى أولى الملاحظات عن مرور كوكب عطارد أمام قرص الشمس.

مع الأسف، لم يُسجَّل اسم المقهى الذي جرى فيه هذا اللقاء التاريخي، لكن يبقى مقهى توركس هيد في زقاق إكستشينج ألاي، أو مقهى جوز أو مقهى ذا فالتشر أماكنَ محتملة؛ حيث كانت تقع جميعًا بالقرب من كلية جريشام، كما كان روبرت هوك دائمَ التردُّد عليها.[1] كان هذا في عصرٍ قبل ظهور الصحف المعروفة؛ لذا وبينما كانوا يدلِفون عبْر سحابة من دخان التبغ الممزوج بروائح حبوب البن المحمَّص والشوكولاتة ورائحة تعرُّق الموجودين، لا بد أنهم تلقَّوا أسئلةً من قبيل «ما الأخبار أيها السادة؟». كان هوك على وجه الخصوص شهيرًا بين روَّاد مقاهي لندن، بل قد أجرى بضع تجارب في تلك المقاهي، منها إسقاطُ رصاصة من سقف مقهى جالوايز على أرضيته ليبرهنَ كما زعم على دوران الأرض. كما كان سيصادف الوافدون الجددُ عدةَ صفوف من رجال حسني الملبس يرتدون شَعرًا مستعارًا، وهو الأمر الذي كان شائعًا منذ استرداد الملكيَّة في عام ١٦٦٠ — ويجلسون إلى طاولات خشبية مستطيلة الشكل تتناثر عليها النشرات والوريقات والقصائد الغنائية، وبضعة شمعدانات وأوعية البصق المتباعدة بعضها عن بعض. وكان سيشترك الحشد في محادثات حيوية وصاخبة عن آخر الأخبار من خارج البلاد، أو يسردون رواياتٍ عن أحدث المحاكمات في قاعات المحاكم المحليَّة أو يتحدثون عن الشائعات المحلية كإغداق الملك حديثًا بلقب على ابنه غير الشرعي من نيل جوين جارة روبرت بويل.

أفرغ الجمع مساحةً للوافدين الجدد البارزين، الذين كان يُحتمل أن يقصُّوا حكاياتٍ عن العلم الجديد الغريب الذي يجري تنفيذ التجارب عليه أو الإعلان عنه من قِبل الجمعية الملكية. لكن في هذه المرة، تحاشى العلماءُ الجمعَ بحثًا عن زاوية هادئة؛ إذ كان ثمَّة أمور عليهم أن يناقشوها فيما بينهم. وبمجرد أن جلس ثلاثتهم، قدَّم لهم صبيٌّ قهوةً ساخنة طازجة مقابل بنس واحد يدفعه كلٌّ منهم، وبمرات إعادة ملء لا حدَّ لها.

كانت الملاحظات الفلكية لهالي اليافع على جزيرة سانت هيلينا قد ألهبت حماستَه تجاه علم الفلك، وتصميمَه على المساعدة في حل ألغاز حركة الكواكب التي لم تُحسَم بعد. والأول من بين تلك الألغاز كان هو شكل مدارات الكواكب. كان يوهانس كيبلر — الذي مات قبل ٥٤ عامًا — قد ترك للأجيال التالية قوانينه الثلاثة عن الكواكب والمدارات البيضاوية الخاصة بها. لقد كانت قوانين كيبلر جيدة، لكن لم يعرف أحدٌ ولا حتى كيبلر

إن كانت مستمدَّة من قانونٍ آخرَ أعمقَ يشرح سببَ دوران الكواكب حول الشمس أو سيرَها في مدارات بيضاوية. عِلاوة على ذلك، لم تنطبق قوانين كيبلر إلا على السماء؛ حيث يكون التغيير غايةً في الندرة. أما على الأرض، فالتغيير هو القاعدة. ولكي يُضمِّن العلم العالم الأرضي، كان في حاجة لأن يُضمِّن أسباب حدوث التغيير.

كما تأمَّل هالي مبدأ القصور الذاتي عند جاليليو، وهو المبدأ الذي يفسِّر سببَ استمرار شيء يتحرَّك بالفعل بسرعة واتجاه ثابتين في الحركة. لكن هذا المبدأ لا يمكن له إلا أن يفسِّر الحركةَ في خط مستقيم. أما التعرُّجات أو الالتفاتات أو المدارات فكانت بحاجة لمدخلاتٍ إضافية. كان كيبلر قد تكهَّن بأن الكواكب انحرفت عن نزعتها الطبيعية في الحركة في خطوط مستقيمة من خلال «قوةٍ ما ... ثابتة في الشمس»، لكنه لم يستفِض في شرح فكرته. قبل خمسة وعشرين عامًا من اللقاء الذي جرى في المقهى، كان عالِم الفلك الهولندي كريستيان هوجنس قد قدَّم معادلةً للقوى الجاذبة التي بإمكانها — على الأقل من حيث المبدأ — الإبقاءُ على الأجسام في حركة دائرية. وكان عدة علماء من بينهم هالي قد لاحظوا أن القوة الطاردة عند هوجنس عندما تجتمع مع قانون كيبلر الثالث ستتناسب عكسيًّا مع مربَّع المسافة بين الكوكب والشمس؛ وهو ما يُعرف اليوم باسم قانون التربيع العكسي. وتساءل هالي ما إن كان قانون التربيع العكسي سيؤدي إلى مدارات كيبلر البيضاوية حين يُطبَّق على تأثير الشمس على الكواكب.

كان روبرت هوك يُصرُّ على أنه كان يملِك الإجابة عن ذلك بالفعل؛ لكن حين سأله صديقاه عن تفاصيل ذلك، راوغهما مصرًّا على أن يحاولا أولًا حلَّ المشكلة حتى يقدِّرا صعوبةَ المهمة وأصالة حلِّها النهائي. ولكي تُحسَم المسألة، عرض رين جائزةً سخية هي كتابٌ تصل قيمتُه إلى أربعين شلنًا لمن يتمكَّن من الرجلين من تقديم دليل مقنِع.

مرَّ الوقت ولم يتقدَّم أيٌّ منهما ليطالب بالجائزة. وفي شهر مارس لعام ١٦٨٤، تلقَّى إدموند هالي أخبارًا تقول إن والده اختفى من منزله في ضاحية إزلنجتون. بعد ذلك بخمسة أسابيع، وُجدت جثةُ أبيه منجرفة على شاطئ نهرٍ يقع شرقِي لندن: من الواضح أنه مات قتيلًا. وإذ مات أبوه ولم يترك وصية، تحتَّم على هالي أن يتحمَّل شهورًا طويلة من النزاعات القانونية التي أخذته في شهر أغسطس من العام نفسه إلى قرية ألكنبوري بالقرب من كامبريدج. ومن هناك، استغلَّ هالي فرصةَ زيارة جامعة المدينة القريبة ليلتقي بأحد أبرز الباحثين والعلماء فيها، والذي قد يستطيع كما ظنَّ هالي نفسه أن يساعده في تحدِّي رين.

صانع القوانين

في يوم الرابع من شهر يناير لعام ١٦٤٣، أي بعد عام واحد من زيارة روبرت بويل لإيطاليا أملًا في لقاء جاليليو العجوز، وُلِد طفلٌ قبلَ أوانه في وولستورب مانور بمقاطعة لنكنشير. ورغم أن الطفل كان سقيمًا وحجمُ جسده صغيرًا بما يكفي ليسعه كوبٌ سعتُه ربع جالون، فإنه نجا ولم يمُتْ.

تحسَّنت قليلًا صحةُ إسحاق بعد ولادته العسيرة. كانت أمُّه هانا إيسكو قد ترمَّلت قبل ثلاثة أشهر من ولادته، وبعد مرور ثلاث سنوات، تزوجت مرةً أخرى وتركت إسحاق في كنَف جَدَّته لأمِّه. لم يتوافق الصبي قط مع أمِّه أو زوج أمِّه وكبِر محبًّا للوحِدة، وعُرِف عنه أنه يحب التكتُّم وينزِع إلى الانتقام. في البداية تلقَّى إسحاق تعليمه في مدرسة كينجز سكول بمدينة جرانثام؛ حيث درس على يد الأفلاطوني هنري مور، بعد ذلك التحق بكلية ترينيتي كوليدج بكامبريدج في عام ١٦٦١ وهو بعمر التاسعة عشرة. هناك تصادق مع الأستاذ الشاغل للكرسي اللوكاسي للرياضيات إسحاق بارو (١٦٣٠–١٦٧٧) الذي انتبه إلى العبقرية الرياضية عند الشاب. وإذ كان بارو من أتباع المذهب الإنسانوي الأفلاطوني المحدَث مثل مور، فقد شجَّع هو أيضًا اهتمامات الشاب بالهرمسية والخيمياء والتي لازمته طوال حياته. وفي عام ١٦٦٧ وهو في الرابعة والعشرين من عمره، انتُخِب نيوتن زميلًا في كليَّته وحين استقال بارو من كرسيِّه في عام ١٦٧٠، انتُخِب خلفًا له. كان يتعيَّن على نيوتن في منصبه كأستاذ أن يلقي محاضرةً واحدة على الأقل في الأسبوع عن الهندسة أو الحساب أو الفلك أو الجغرافيا أو البصريات أو الاستاتيكا أو أي موضوع آخر من موضوعات الرياضيات. واختار نيوتن أن يحاضر عن البصريات، لكن محاضراته كانت على ما يبدو غايةً في المَلل حتى إنه كثيرًا ما كان يُترك يتحدَّث إلى مقاعدَ فارغة.

وبعد أن تحدَّث هالي ونيوتن أحدهما إلى الآخر بضع ساعات، سأل هالي نيوتن عن نوع الانحناء الذي يظن أنه تتخذه الكواكب المقيَّدة في مداراتها بقوة شمسية تتضاءل بقانون التربيع العكسي. ومن دون تردُّد، أجابه نيوتن بأنه سيكون بيضاويًّا. هنا بُهِت هالي. فطلب من نيوتن دليلًا على ذلك، لكن بعد تفتيش أدراجِه، زعم العالِم المنتمي لجامعة كامبريدج أنه لا يستطيع أن يجد ملحوظاته، ووعده بأنه سيرسلها إليه. فعاد هالي إلى لندن ظانًّا أن دليل نيوتن لن يكون ملموسًا أكثرَ من دليل هوك؛ على الرغم من أن فكرة أن مسارًا بيضاويًّا قد ينتج عن قانون التربيع العكسي هي فكرة زُرِعت على الأرجح في عقل نيوتن بفعل خطابٍ تلقَّاه من روبرت هوك في ديسمبر لعام ١٦٧٩.[2] لكن

في شهر نوفمبر لعام ١٦٨٤، أوصل رسول أطروحةً قوامها تسع صفحات لهوك عنوانها «حول حركة الأجسام في المدارات».

وبعد أن اطَّلع عليها، ذُهِل هالي حين اكتشف أن أطروحةَ نيوتن قدَّمت عناصرَ من علم ديناميكا جديد كليًّا لا تصف الحركة فحسب، بل تضمَّنت تعليلات معرَّفة رياضيًّا. فعاد إلى كامبريدج وأقنع نيوتن أن يكتب كتابًا وتعهَّد بأن تنشره الجمعية الملكية. لكن لسوء الحظ، بحلول الوقت الذي أصبح فيه كتاب نيوتن جاهزًا — وكان عنوانه «الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية» والذي يُعرف اليوم عالميًّا باسمه البسيط «الأصول» — كانت الجمعية الملكية قد أنهكت ميزانيةَ النشر لديها بنشر كتابٍ غير ناجح حول السمك. لذا في عام ١٦٨٧، حمل هالي على عاتقه العبء المادي لنشر الكتاب الذي يمكن القول بأنه هو الأهم في تاريخ العلم بأكمله.

في جوهر كتاب نيوتن «الأصول» نجد ثلاثة قوانين للحركة معرَّفة رياضيًّا، ومعًا تشكِّل أساس علم الميكانيكا الكلاسيكية. كانت خطوته الثورية الأولى هي التعاطي رياضيًّا مع علل التغيير في الحركة تحت مصطلح «القوَّة» الجامع. ينص قانون نيوتن الأول على أن الأجسام الثابتة أو المتحركة بحركةٍ منتظمة تظل تتحرَّك ما لم تؤثِّر عليها قوة خارجية. والقوة في قوانين نيوتن هي سببُ التغيُّر الذي يطرأ على الحركة. والأكثر أهمية من ذلك، أنها تؤثِّر على الأجسام السماوية والأرضية في الوقت نفسه.

لكن ما هي القوة إذن؟ تذكَّر أن إبداع جان بوريدان كان يكمُن في تعريف القوة الدافعة رياضيًّا بأنها «الكتلة مضروبة في السرعة المتجهة». وفي قانونه الثاني عرَّف نيوتن القوة على نحوٍ مشابه، لكنه استبدل بالسرعة المتجهة عند بوريدان التسارع: وهي درجة التغيُّر الذي يطرأ على الحركة. أصبحت القوة تعني «الكتلة مضروبة في التسارع». بهذا الشكل، لا تحتاج الأشياء إلى قوًى لتظلَّ في حركتها بالسرعة المتجهة نفسها (أو لتقف ثابتة)، وهذا يتَّسق مع قانون جاليليو عن القصور الذاتي. القوة إذن مطلوبة فقط من أجل إحداث تغيير على الحركة، كالسهم الذي ينطلق من القوس.

من المهم أن نشير إلى أن نيوتن لم يحاول أن يشرحَ ما هي القوة في الواقع، بل فقط ما تتسبَّب به وتفعله. فحين يطرأ تغييرٌ على حركة الشيء — كأن يُسرِع أو يُبطِئ أو يغيِّر اتجاهه — فإن قوةً إذن قد أثَّرت فيه، وذلك طبقًا للقانون الثاني. ولا يخبِرنا هذا القانون بأي شيء عن طبيعة تلك القوة. لكن إذا ما علِمت من خلال بعض الوسائل مقدارَ ما تتمتَّع به هذه القوة من قوة، فإن القانون الثاني يسمح لك بإعادة ترتيب معادلة نيوتن

لحساب كمِّ التسارع الذي ستضيفه هذه القوة على الجسم. وسيكون تسارعُه مساويًا للقوة التي بُذِلَت مقسومة على كتلة الجسم.

أما قانون نيوتن الثالث عن الحركة فينص على أن لكل فعل ردَّ فعلٍ مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه. فحين يبذل وترُ قوس الرامي قوةً على السهم ليسبِّب تسارعُه من الوتر، فإن السهم يبذل قوةً مساوية في المقدار ومضادة لاتجاه القوس والرامي: وهذا هو الارتداد.

أخيرًا قدَّمت قوانين نيوتن الثلاثة علَّة مُعرَّفة رياضيًّا لحركة الأجسام على الأرض، وهي القوة، لكن الدافع وراء ظهور كتاب «الأصول» كان سؤال هالي عن تلك المدارات البيضاوية للكواكب. ولكي يجيب عنه، طبَّق نيوتن مبادئه الميكانيكية فيما يتعلَّق بأجسام السماء. وحيث إن الكواكب تغيِّر اتجاهها — وهو شكل من أشكال التسارع — أثناء دورانها حول الشمس، فقد عزا نيوتن ذلك إلى أنها لا بد أنها تتأثَّر بفعل قوةٍ تنبثق حتمًا من الشمس، كما تكهَّن كيبلر. وقد اكتشف نيوتن أن تلك القوة إن كانت تتناسب مع حاصل ضرب كتلة الكوكب في كتلة الشمس، وكانت تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين الكوكب والشمس — كما هو الحال مع القوة الطاردة عند هوجنس — فإن نتائجه تطابق مدارات كيبلر.[1] وينص قانون نيوتن عن الجاذبية العامة على أن قوة التجاذب بين جسمين تساوي ثابتًا يُعرف باسم ثابت الجاذبية — ويُرمز له بالرمز G — مضروبًا في ناتج قسمة حاصل ضرب كتلتيهما[2] على مربع المسافة بينهما.

لو توقَّف نيوتن عند هذا الحد لأصبح عملاقًا من عمالقة العلم من أمثال كوبرنيكوس وكيبلر وجاليليو. إلا أن نيوتن خطا خطوة ثورية أخرى استحقَّ لأجلها لقبَ أعظم فيزيائي — أو ربما أعظم عالِم — عاش على وجه الأرض. لاحَظ نيوتن أن الأجسام الأرضية — كالتفاح مثلًا — حين تسقط تتسارع — كما برهن جاليليو. وبربط هذه الحقيقة مع قانونه الأول، خلَص نيوتن إلى أن الأشياء الأرضية الساقطة لا بد أن قوةً تؤثِّر عليها ومفعول هذه القوة يجري بين الأرض وذلك الشيء. وبصورة بارزة أكثر، اكتشف نيوتن أن باستطاعته الحصولَ على المسار الدقيق للسقوط إذا ما افترض أن تلك القوة مساوية لثابت الجاذبية نفسِه الذي طبَّقه على الأجسام في السماء، مضروبًا في ناتج قسمة حاصل ضرب كتلتي الجسمين على المسافة بينهما. وكان استنتاجه الثوري هو أن الجاذبية — تلك القوة التي تتسبَّب في انحناء مدارات الكواكب — تؤثِّر في الأرض أيضًا مما يسبِّب سقوط التفاح عن الشجر.

أخيرًا وحَّد نيوتن الحركةَ على الأرض وفي السماء من خلال مجموعة واحدة من القوانين. ألقِ بتفاحة في الهواء وستجد أن مسارها يتَّخذ شكلَ قِطعٍ مكافئ — كما شرح جاليليو وبرهنت قوانين نيوتن. لكن، تذكَّر أن القطع المكافئ هو قطاع مخروطي مثله مثل الشكل البيضاوي (ارجع إلى الشكل ٨-٥). أطلِق تفاحة بقوة انطلاق صاروخ وستجد أنك أطلقتها في مدار بيضاوي حول الأرض، كالقمر. ستصبح التفاحة جسمًا سماويًّا. إذن الأرض والسماء مجردُ منطقتَين مختلفتين من الكون تحكمهما مجموعةُ قوانين واحدة توصَّل إليها نيوتن.

وكمثل بويل قبلَه بعَقدين من الزمن، قدَّم نيوتن في كتابه «الأصول» المبادئ التي أرشدت علمَه الثوري. ففي القاعدة الأولى من كتابه بعنوان «قواعد التفكير في الفلسفة»[3] يشدِّد نيوتن على أننا «ليس علينا أن نقرَّ بعللٍ للأشياء الطبيعية غير تلك التي تكون حقيقيةً وكافية لتفسير مظاهرها»؛ هذا تعبيرٌ واضح عن شفرة أوكام. وفي فقرة أخرى يؤكِّد أن «الطبيعة تحب البساطة، ولا تفضِّل بذخَ العللِ غيرِ الضرورية». لقد شقَّت الشفرة طريقها من القرن الثالث عشر — من خلال «المذهب الجديد» — فوصلت إلى ليوناردو وكوبرنيكوس وكيبلر وجاليليو وبويل والآن إلى نيوتن لتصبح لبنة أساسية من لبنات العلم الحديث.

لكن كان هناك ثَمن لقوانين نيوتن البسيطة. كان عليه أن يقدِّم ثلاثة كيانات جديدة. فهناك قوًى مثل الجاذبية غير مفهومة في واقع الأمر — رغم أنها معرَّفة رياضيًّا — بأكثرَ من فهمِ بوريدان للقوة الدافعة. اعتبر نيوتن أن القوة هي نوع من الدَّفع أو السَّحب، مع احتكاك الدافع والمدفوع لنقلِ هذه القوة، على نحوٍ أشبهَ بمفهوم أرسطو عن الحركة. لكن هذه الحركة تؤثِّر عليها بشدة الجاذبية، التي تمتد من الشمس عبْر ملايين الأميال من الفضاء الفارغ لتتسبَّب في دوران الكواكب. كيف ذلك؟ لم يكن لدى نيوتن أدنى فكرة.

ما القوانين؟

الأمر الذي يعود بنا إلى قوة الدفع عند بوريدان. ستتذكُر أنني تساءلت من قبلُ إن كان شيء ليختلف لو استبدل بوريدان بمفهومه عن كيفية نشوء «قوة الدفع» ملاكًا. يمكننا أن نطرح السؤال نفسَه عن الجاذبية أو القوة عند نيوتن. هل يمكن أن يكون ملاكٌ — وليس الجاذبية أو القوة — هو مَن يدفع الكواكب أو المقذوفات؟ أكان ليتغيَّر شيء لو كان الأمر على ذلك النحو؟ بشكلٍ ما، لا — رغم أن ذلك سيتطلب أن يكون بحوزة ذلك الملاك نسخةٌ

من كتاب «الأصول» لنيوتن ليحرص على أنه يسير على المسار الذي وصفته قوانينه. ولو احتاج الملاك إلى دليل للقواعد، فلمَ لا نستبعد الملاك ونُبقي على دليل القواعد؟ إن الملاك في قوانين كلٍّ من بوريدان أو نيوتن هو كيان فائض عن الحاجة وينبغي استبعاده.

لكننا إذا ما استغنينا عن الملاك، يتبقى لنا سؤال: أين يحتفظ العالَم بدليل قواعده؟ اعتقد نيوتن أن قوانينه كانت مكتوبة بخط يد الرب؛ لذا فإن دليل القواعد الخاص به محفوظ في السماء، بالأحرى مثل المُثل المسيحية أو كليَّات الأشياء. لكن قبل نيوتن بأربعة قرون تقريبًا، شدَّد ويليام الأوكامي على أنه «ليس ثمَّة نظام في الكون يختلف فعلًا عن الأجزاء الموجودة من الكون».[4] يُنظَر عامة للقوة والجاذبية على أنهما «تختلفان عن الأجزاء الموجودة من الكون» كونهما من الكيانات الخفيَّة التي تدفع الأشياء أو تسحبها. عوضًا عن ذلك أصرَّ ويليام الأوكامي على أن مصطلحات كهذه والتي تصِف العلاقةَ بين الأشياء المادية — وليس الشيء نفسه — هي ما أطلق عليها «المفاهيم» وهو ما نُطلق نحن عليه اليوم الأفكار أو الافتراضات. لقد كان ويليام الأوكامي محقًّا بالنسبة إلى قوة واحدة على الأقل من قوى نيوتن.

تذكَّر أنك في قوانين نيوتن تضرب كتلتي الجسمين وتقسم الناتج على مربَّع المسافة بينهما للحصول على مقدار قوة الجاذبية التي تجذبهما أحدهما إلى الآخر. لذا فإن الكتل الأكبر ستجذبها قوى جاذبية أكبر. لكن أليس هذا غريبًا بعض الشيء؟ لقد برهن جاليليو على نحوٍ معروف على أن الأشياء تسقط بنفس المعدَّل بغض النظر عن كتلتها — وذلك بخلاف ما قاله أرسطو.

تنحلُّ هذه المعضلة في ميكانيكا نيوتن من خلالِ تطبيقِ قانونِ نيوتن الثاني لحسابِ تسارُعِ جسمٍ ما الناتجِ عن القوة الجاذبة لجسمٍ آخرَ له من خلال قسمة القوَّة الفاعلة على كتلتَي الجسمين. لذا فإنك أولًا تضرب في الكتلة لتحصل على مقدار القوة، ثم تقسم على تلك الكتلة نفسِها لحساب التسارُع الناتج عن تلك القوة. وكون الكتلة هي المضروب فيه والمقسوم عليه كليهما، فإنهما يحذفان معًا. وهكذا تخرج الكتلة من حسبة تسارُع الجاذبية الكاملة، على نحوٍ متوافق مع ملاحظات جاليليو بأن الأجسام تسقط بالمعدَّل نفسه، بغض النظر عن كتلتها.

الأمر ينجح، لكن ألا يبدو ذلك مريبًا بعض الشيء؟ بكل تأكيد كان الأوكامي ليقول شيئًا عن هذا على غرار: لماذا نضع الكتلةَ في معادلة الجاذبية في المقام الأول؟ لكننا إن استبعدنا الكتلةَ فإن الجاذبية لن تتصرف وكأنها قوةٌ من قوى نيوتن على الإطلاق. ما

هي الجاذبية إذن؟ بعد ثلاثة قرون، سيفكِّر مليًّا في هذا السؤال عالِم عظيم آخر هو ألبرت أينشتاين وسيخرج بفهمٍ مختلِف تمامًا عن الجاذبية.

لكن كان هناك كيانان إضافيان آخران في كون نيوتن، وهما لا يُحذفان معًا: الفضاء المطلَق والزمن المطلق. الحاجة إلى كليهما واضحة، إذا ما أردنا أن نطرح السؤال: ماذا كان ليعني مفهوم التسارع في كونٍ ليس به إطار مرجعي لقياس الزمن أو الفضاء؟ نستطيع أن نتخيَّل سفينةَ جاليليو على سبيل المثال وقد ضربتها عاصفة مفاجِئة جعلتها تتمايل وتترنَّح مما يجعل الأواني والقدور في مطبخ السفينة تحت سطحها تتطاير عن يمين وشمال. يمكن حسابُ القوة الفاعلة على كل جسمٍ عن طريق قياس كتلته وتسارُعه بالتناسب مع جدران المقصورة أو الأجسام بعضها مع بعض. لكن استبعد كل الأشياء المحيطة، بما فيها السفينة، والبحر بل الكوكب نفسه حتى، والشمس والقمر والنجوم، وتخيل إناءً واحدًا فقط يتسارع في فضاء خالٍ. كيف كنا لنعلم أنه تسارع — ومِن ثَم يكون عرضة لقوةٍ ما — من دون نقاط مرجعية؟ تذكَّر حجَّة ويليام الأوكامي أن الكم — كالرقم اثنين مثلًا — لا يمكن أن يكون شيئًا موجودًا (كلية)؛ لأن زوجًا من الكراسي في حجرةٍ يمكن أن يصبح زوجين إذا ما هدمنا جدارًا في حجرة مجاورة بها كرسيان آخران. والقوة — كشيء موجود — بالمثل تبدو وكأنها تتبخَّر حين تختفي جدران سفينة جاليليو الخيالية.

ما هي القوى إذن؟ كتب ويليام الأوكامي قبل أربعمائة سنة يقول:

> لا يتعلَّق علم الطبيعة بالأشياء التي تُولد وتفنى، ولا بالمواد الطبيعية، ولا بالأشياء التي نراها وهي تتحرَّك في الأرجاء … في الحقيقة، يتعلَّق علم الطبيعة بتصوُّرات العقل الشائعة فيما يتعلق بتلك الأشياء، والتي تمثِّل تلك الأشياء على وجه الدقة في الكثير من العبارات.[5]

هذا تصريح استثنائي بالنسبة إلى القرن الرابع عشر، لكني أعتقد أن الأوكامي هنا يشدِّد على أن العلم يتعلَّق بالنماذج. لذا فإن مفاهيمَ مثل القوة الدافعة في عصره أو القوة في عصر نيوتن هي تراكيبُ ذهنية (تصوُّرات العقل) نضمِّنها في نماذجنا لنصل إلى توقُّعات (عبارات) حول العالم (تمثِّل تلك الأشياء على وجه الدقة في الكثير من العبارات). ليس معنى هذا أن ننكر أن تلك الكلمات تشير إلى كياناتٍ موجودة في العالم المادي؛ لكن الأوكامي يشدِّد على أن العلم لا يتعلَّق بتلك الكيانات، بل بالعبارات التي تسمح

لنا نماذجنا بأن نكونها بشأنها. وأقصى ما ينتهي إليه أملنا هو أن تتسق تلك العبارات مع عباراتٍ مستلهمة من نماذجَ أخرى، كتلك التي تصِف نتيجةَ إحدى التجارب (عبارة أخرى). وإن كانت العبارات متسقةً يصبح لدينا نموذج متَّسق عن العالَم: وهو العلم. لا يعني هذا أن نموذجنا صحيح، إنما يعني فقط أننا لم نُثبت خطأه. ويظل نموذجنا العلمي ليس في العالم المادي حولنا — كما أكَّد أرسطو — أو في عالم ما خفيٍّ — كما اقترح أفلاطون — لكن في أذهاننا كما يرى الأوكامي. أما الحقيقة المطْلقة عما هو موجود «فعلًا» في العالم المادي فستظل دائمًا أبعدَ من متناول أيدينا، ولا سبيل لمعرفتها كما هو الحال مع الإله مطْلق القدرة عند ويليام الأوكامي.

سنعود إلى طبيعة النماذج لأنها أساسية بالنسبة إلى الدور الذي تلعبه شفرة أوكام في العلم. أما في الوقت الراهن، فسننتقل إلى إبرازِ أن قانون الجاذبية عند نيوتن يوصف بأنه «عام» بمعنى أنه ينطبق على كل الأشياء في الكون. ولا يُستخدم هذا المصطلح فيما يتعلق بقوانينه الميكانيكية؛ لأن الفائدة من تلك القوانين — كما سنرى — تتبخَّر عند أصغر مثقال من المادة. لكن هناك مستوًى وسيطًا بين الكواكب والتفاح وأصغر الجزيئات؛ حيث ثبَت أن قوانين نيوتن مصحوبة بشفرة أوكام تُعَد مفيدةً بصورة بارزة، وتشكِّل الأساسَ في كثير من التقنيات التي غيَّرت وجهَ عالمنا.

هوامش

(١) حسنًا، ليس الأمر هكذا تمامًا. ففي كتابه «الأصول»، يثبت نيوتن أن الكوكب الذي يتحرَّك في مدار بيضاوي لا بد أنه يقع تحت تأثير قوة طاردة بحجمٍ يتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بينه وبين الشمس؛ وهذا في الواقع هو عكس سؤال هالي.

(٢) الكتلة هي مقاومة الجسم للتسارُع، وهي مستقلة عن الجاذبية، ومِن ثَمَّ الوزن. وهي تعني كمَّ المادة الذي يحتويه الجسم.

الفصل الثاني عشر

الاستفادة من مفهوم الحركة

الكونت والمدفع

في الخامس والعشرين من شهر يناير لعام ١٧٩٨، أي بعد قرابة سبعين عامًا من وفاة نيوتن، قُرِئت ورقة بحثية بعنوان «بحثٌ تجريبي حول مصدر الحرارة الناتجة عن الاحتكاك» من قِبل كونت رامفورد على مسامع أعضاء الجمعية الملكية. قدَّمت الورقة وصفًا لتجربة تثقيب ماسورة مدفع لصناعة أسطوانة للذخيرة.

إن إحداث ثقبٍ في المعادن الصلبة بالطبع مهمةٌ تتطلب كمًّا كبيرًا من القوة النيوتنية. وقد حقَّق رامفورد ذلك من خلال حصانين من خيول الجر. اقتيد الحصانان حول ساحةٍ وهما مربوطان إلى عجلةٍ بحيث يدير جهدهما العجلة، وهما يسيران على مسارٍ دائري، بسرعةٍ تصل إلى ٣٢ لفَّة بالدقيقة. ورُبِطت العجلة إلى ماسورة مدفع أُجبِر طرفه المقصوص على الدوران أمام مثقاب من الصلب الشديد مغمور في خزَّان مياه. أخذ الكونت، الذي كان يرتدي على الأرجح سروالًا عسكريًّا وصدرية ورباطَ عنق ومعطفًا يصل طوله إلى الركبتين ويعتمر قبَّعة ثلاثية الزوايا، ينظر فيما علت الدهشةُ وجوهَ الحاضرين — لكنها لم تعلُ وجهه — وقد تولَّد كمٌّ كبير من الحرارة من المدفع المثقوب حتى إن الماء في الخزان كان يغلي في غضون ساعتين من العمل. يروي رامفورد أنه «سيكون من الصعب وصفُ الدهشة والذهول على وجوه المتفرجين لدى رؤيتهم لهذا الكم من الماء البارد وهو يزداد سخونةً، بل يصل حدَّ الغليان من دون وجود أي نار». لقد برهن الكونت على أن الحرارة ترتبط بالحركة.

ما الحرارة؟

وُلِد كونت رامفورد في عام ١٧٥٣ واسمه عند ولادته بنجامين طومسون، لأسرة متواضعة من المزارعين في «العالم الجديد» في ووبرن بماساتشوستس، وهي بلدة صغيرة شمالي بوسطن. كان ذلك بعد ١٢٠ عامًا فقط من إبحار السفينة «مايفلاور» إلى منطقة نيو إنجلاند، إلا أن المستعمرات مثل بوسطن كانت قد تطوَّرت بالفعل لتصبح مراكزَ اقتصادية مستقلَّة. وبعد تدريب مهني لم يُكلَّل بالنجاح على أن يكون بزَّازًا ثم طبيبًا، حصل طومسون على وظيفة مدرس في مدرسة. وحين كان بعمر التاسعة عشرة، حقَّق طومسون وثبةً كبيرة على السُّلم الاجتماعي بزواجه من إحدى أثرى السيدات في المستعمَرة، وهي أرملة بنت اثنين وثلاثين عامًا تُدعى سارة رولف. كانت سارة قد ورِثت أراضي وممتلكات في بلدةٍ تُعرف باسم رامفورد في نيو هامبشاير. وبزواجه أصبح مزارعًا نبيلًا، ثم سرعان ما عُيِّن قائدًا لميليشيا نيو هامبشاير. وقد هجر طومسون زوجتَه وابنتَه الرضيعة حين اندلعت حربُ الاستقلال الأمريكية في العام ١٧٧٥، من أجل أن يتجسَّس لصالح الإنجليز. وبسقوط بوسطن، أبحر إلى لندن حيث تمكَّن من تأمين وظيفة مستشار مسئول عن تجنيد وتجهيز الجيش الإنجليزي المقاتل في حرب الاستقلال.

وأثناء عمله لصالح التاج الإنجليزي، اكتسب طومسون اهتمامًا بالهندسة العسكرية، فصمَّم تجاربه الخاصة التي استحق لأجلها انتخابَه زميلًا بالجمعية الملكية في عام ١٧٧٩. وقوطع عمله حين اتُّهم بالتجسُّس لصالح الفرنسيِّين، ما أدَّى به إلى الهرب إلى قارة أوروبا. هناك حصل في ميونخ على وظيفةِ مستشار للأمير الناخب لبافاريا، وابتكر المطبخ الميداني، والمراجل المحمولة وطنجرة الضغط. وكان الأمير الناخب مسرورًا كثيرًا حتى إنه قلَّده رتبةَ الكونت الخاصة بالإمبراطورية الرومانية المقدَّسة.

وأثناء فترة عمله قائدًا لترسانة ميونخ قام طومسون بأكثر تجاربه شهرة. ويقول في هذا الشأن: «نظرًا لكوني منشغلًا مؤخَّرًا بثَقْب مدفع ... ذهلتُ من درجة الحرارة الكبيرة التي يكتسبها المدفع النحاسي في فترة وجيزة أثناء ثقبه». إن كون الثَّقب يولِّد حرارة كان أمرًا معروفًا بالطبع منذ أول مرة لفَّ فيها الإنسان عيدانًا خشبية ليصنع النار، إلا أن أحدًا لم يلاحظ فعلًا أيَّ شيء غريب أو جديد بالملاحظة حيالَ هذه العملية. وكقصة نيوتن الوهمية الشهيرة عن سقوط التفاحة، أحيانًا يمكن لملاحظةٍ ظاهرة عادية وشائعة من عقليةٍ فذَّة أن تكشف عن ألغازٍ محيِّرة. في هذه الحالة، كان اللغز هو طبيعة الحرارة.

كانت الحرارة محلَّ جدال كبير في القرن الثامن عشر. إذ ربطها القدامى حصريًّا بالنار، وهي التي عدَّها اليونانيون أحدَ العناصر الأساسية الأربعة إلى جانب الماء والهواء والتراب. لكن وبينما كانت الثورة الصناعية تهيئ نفسَها وتتأهَّب للانطلاق في القرن الثامن عشر، أصبحت لطبيعةِ الحرارة وتطويعِها لتحريك المحرِّكات البخارية أهميةٌ قصوى. قبل ذلك بقرن من الزمن، قدَّم عالِما الخيمياء/الكيمياء الألمانيان جورج إرنست شتال (١٦٥٩–١٧٣٤) ويوهان يواخيم بيشر (١٦٣٥–١٦٨٢) أولَ دليل في هذا الشأن حين أشارا إلى أن القِطع الخشبية تفقد كتلتَها حين تُحرق حتى تصبح رمادًا. وقد سمَّيا المادةَ التي تخرج من المواد القابلة للاحتراق باسم الفلوجيستون phlogiston وهي مأخوذة من الكلمة اليونانية phlox بمعنى اللهب، وزعما أنها هي العامل الفاعل في الحرارة والاحتراق. كما اقترحا أيضًا أن التنفُّس ينطوي على قدرٍ من الاحتراق ينتج عنه فلوجيستون لتدفئة الجسم، والذي بعد ذلك يعيد النباتُ امتصاصه ويخزِّنه في الخشب ليخرج مرةً أخرى من الخشب المشتعل بغرض إكمال دورة بيئية من نوعٍ ما.

حتى الآن، كانت تلك نظريةً منطقية تناسب الكثيرَ من الحقائق. لكنَّ المتحمِّسين لنظرية الفلوجيستون تجاهلوا تمامًا نصيحةَ روبرت بويل بشأن قَصرِ فرضياتهم على أبسط «النظريات الجيدة والمتقنة» اللازمة لتفسير نتائجهم. إذ أصرَّ الكيميائي الألماني جيه إتش بوت (١٦٩٢–١٧٧٧) على أن الفلوجيستون كان «هو المبدأ الرئيسي النشِط في طبيعة كل الجمادات» و«أساس الألوان» و«العامل الفاعل في التخمير».

وعلى غرارِ كل الأفكار المعرَّفة بتعريفات فضفاضة، كانت نظرية الفلوجيستون أيضًا قادرةً على استيعاب حقائقَ جديدة. في عام ١٧٧٤، جزَّأ العالِم الإنجليزي جوزيف بريستلي (١٧٣٣–١٨٠٤) الهواءَ ليحصل على غازٍ «أفضل من الهواء العادي بخمس أو ست مرات» في تعزيز الاحتراق. وقد رأى بريستلي أن الغاز الجديد الذي اكتشفه لا بد أنه هواء فُصِل عنه كل الفلوجيستون، تاركًا بؤرةً من نوعٍ ما للفلوجيستون الناتج عن احتراق الخشب والمواد الأخرى القابلة للاحتراق. وقد سمَّى هذا الغاز الجديد «الهواء المنزوع الفلوجيستون»، لكننا نعرفه اليوم باسم عنصر الأكسجين. ويتَّحد الأكسجين مع الكربون في المواد القابلة للاحتراق فينتج عن ذلك ثاني أكسيد الكربون: وهذا بشكلٍ ما الوجهُ المعاكس لتفسير بريستلي للفلوجيستون، إلا أنه يُظهِر وبدقَّة كيف يكون من السهل ملاءمةُ أي قدرٍ من البيانات أو الملاحظات مع نموذج خاطئ تمامًا عن العالم، ما دُمت تملِك تحت طوعِك ما يكفي من الخيال والبراعة.

لكن لاحظ عديدٌ من الكيميائيِّين مشكلةً أكبر في نظرية الفلوجيستون. فحين تحترق بعض المعادن كالماغنسيوم، فإنها تكتسب كتلةً بدلًا من أن تخسرها. للوهلة الأولى قد يبدو هذا دحضًا لنموذج الفلوجيستون حيث إن خسارة مادة كالفلوجيستون الخيالي هذا من أحد المعادن لا يمكن بالتأكيد أن تضيف إلى كتلته. لكن المدافعين عن تلك النظرية ما كانوا ليستسلموا بهذه السهولة. إذ اقترحوا أن بعض أشكال الفلوجيستون تملك «وزنًا سالبًا». وحيث أخذ عدد المعادن التي تكتسب كتلةً لدى احتراقها في الازدياد، حتى حين تحترق فيما سمَّاه بريستلي «الهواء المنزوع الفلوجيستون»، أُجبِر أنصارُ النظرية على اللجوء إلى مساحةٍ مجرَّدة أكثر، وذلك بأن دفعوا بأن الفلوجيستون هو نوع من المواد غير المادية أو هو جوهر الاحتراق بشكلٍ ما، وهذا يشابه على نحوٍ مبهَم أحدَ مُثُل أفلاطون أو كليات أرسطو. كان المدافعون عن تلك النظرية راضين بإضافةِ ما يتطلبه الأمر من كيانات لتلائم نظريتهم الحقائق، وهم في ذلك أشبهُ بالمتصوفة الهرمسيِّين أو المدرسيِّين في العصور الوسطى.

انتهت نظرية الفلوجيستون أخيرًا يوم الخامس من شهر سبتمبر لعام ١٧٧٥ حين قدَّم الكيميائي الفرنسي أنطوان لافوازييه (١٧٤٣–١٧٩٤) للأكاديمية الفرنسية للعلوم أبحاثَه الخاصة حول ما أسماه بريستلي ﺑ «الهواء المنزوع الفلوجيستون». أعاد لافوازييه إجراءَ تجارب بريستلي حول احتراق المعادن. وبقياس وزن الهواء أو الأكسجين قبل وبعد عملية احتراق المعدن بدقة، تمكَّن من إثبات أنَّ وزنَ الهواء قلَّ بنفس مقدار زيادة وزن المعدن المحترِق. فبدلًا من أن تَنتج أيُّ مادة عن احتراق المعدن، كان المعدن عوضًا عن ذلك يتَّحد مع أحد عناصر الهواء: وهو الأكسجين.

واستطرد لافوازييه وحاجج بأن:

> الكيميائيِّين جعلوا من الفلوجيستون مبدأً مبهمًا ... الأمر الذي يتلاءم مع كل التفسيرات المطلوبة منه؛ ففي بعض الأحيان يكون لهذا المبدأ وزنٌ وفي أحيان أخرى لا؛ في بعض الأحيان يكون نارًا فقط، وفي أحيان أخرى نارًا مختلطة بالتراب ... إنه أشبه بالإله بروتيوس الذي يغيِّر شكلَه بين اللحظة والأخرى.[1]

لاحظ أن الكيميائي الفرنسي لم يكن يزعم أنه دحض نظريةَ الفلوجيستون، بل كان يحاجج — مثل روبرت بويل عن «النظريات المغالية» — بأن النظرية أصبحت معقَّدة جدًّا حتى أصبح من غير الممكن دحضها. على النقيض، كانت نظريته عن الأكسجين

بسيطةً لكنها تفسِّر جميع الحقائق. ويكتب لافوازييه يقول: «لم تَعُد هناك حاجة — أثناء تفسير ظاهرة الاحتراق — إلى افتراض وجود كمية هائلة من النار الثابتة [الفلوجيستون] في كل الأجسام التي نصِفها بأنها قابلة للاحتراق». وأكمل يحاجج بأنه «طبقًا لمبادئ المنطق السليم ... فإنه [أي الفلوجيستون] غير موجود».[2] بحلول ذلك الوقت لم تكن هناك حاجة لاقتباس الشفرة؛ حيث كانت شائعة عالميًّا باعتبارها من «المنطق السليم» في العلم؛ لكن في حال راودت الشكوكُ أحدًا، فإن لافوازييه يشدِّد على أننا «لا ينبغي أن نضاعف الكيانات ما لم يكن ذلك ضروريًّا».

يبرهن رفض لافوازييه للفلوجيستون على كيف أن شفرة أوكام قد أصبحت بحلول القرن الثامن عشر متجذرة بشدة في نسيج العلم لدرجةِ أنها ومنذ ذلك الحين تكاد تكون خفيَّة. لكن وعلى الرغم من أن لافوازييه قضى على كيان واحد — وهو الفلوجيستون — فإنه ذهب يصنع واحدًا آخرَ. كانت المشكلة أن المتحمِّسين لنظرية الفلوجيستون كانوا قد زعموا أنه هو مصدر الاحتراق والحرارة. واستبدال الأكسجين بالفلوجيستون في عملية الاحتراق تركه مع ذلك عالقًا مع مشكلة الحرارة: ما هي الحرارة؟ في ورقته البحثية بعنوان «تأمُّلات حول الفلوجيستون» والتي نُشِرت عام ١٧٨٣، اقترح لافوازييه أن الحرارة كانت «سائلًا خفيًّا» من نوعٍ ما يتدفَّق من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة، وقد أطلق عليه اسم «السيال الحراري».

الأمر الذي يعود بنا إلى كونت رامفورد. ستتذكُر أن الكونت قال: «ذهلت من درجة الحرارة الكبيرة التي يكتسبها المدفع النحاسي». طبقًا لنظرية السيال الحراري، كانت المشكلة أن الحرارة تتدفَّق من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة؛ لكن المثقاب والمدفع والماء المحيط كلها تدخل التجربة بدرجة الحرارة نفسها. إذن من أين كان يأتي السيال الحراري؟ لغزٌ آخر كان يتمثَّل في أن مصدر الحرارة بدا أنه غير قابل للنفاد، وذلك في سياق التجربة، الأمر الذي يتناقض مع نظرية السيال الحراري وما تقوله عن مادة محدودة ومحفوظة أو سائل خفي يتدفَّق فقط من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة.

كان مفتاح الحل هو أن العملية كلها تبدأ عند حركة الحصانين. وأدرك الكونت أن حركتهما تنقل الحركة إلى المثقاب الذي ينقل الحركة إلى المدفع، الذي ينقل الحركة بدوره إلى جزيئات الماء المجهرية فيسخِّنها. وقال الكونت «إن تلك الحركات ... هي التي تُنشِئ حرارةً أو درجةَ حرارة الأجسام الملموسة».[3] كان رامفورد قد ابتكر نظريةَ الحرارة الحركية، التي تزعم أن الحرارة هي مقياس لحركة جزيئات المادة. وكمثل الفلوجيستون،

أصبح السيال الحراري كيانًا يفوق الضرورة، وفَهِمنا الحرارةَ نفسها على أنها مقياس للحركة.

تأمُّلات حول القدرة الدافعة للنار

تمامًا كما لم يُبطل اكتشافُ الكتلة المكتسبة من احتراق المعادن على الفور نظريةَ الفلوجيستون، فإن برهنة رامفورد على أن السيال الحراري لا ينفَد لم تؤدِّ من فورها إلى انتهاء نظرية السيال الحراري. وقد نوَّه بعض العلماء إلى بعض مواضع عدم الدقة في قياسات رامفورد، فيما أشار آخرون إلى أن الكونت لم يبرهن في واقع الأمر على أن السيال الحراري ذو طبيعة لا تنضُب. وفي نهاية المطاف، حين كان المدفع يُثقَب أو حين كان يتدمَّر المثقاب، كان السيال الحراري ينفَد.

مشكلة أخرى كانت أن المذهب الذري — وهو الأساس في النظرية الديناميكية للحرارة — كان لا يزال يلقى مقاومةً من الكثير من العلماء الذين ظلُّوا يؤمنون بنظريةِ أرسطو عن الملاء فيما يتعلَّق بالمادة القابلة للقسمة إلى ما لا نهاية. في كتابه الشديد التأثير بعنوان «تأمُّلات حول القدرة الدافعة للنار» الذي نُشِر في عام ١٨٢٤، أي بعد ستة وعشرين عامًا من نشر ورقة رامفورد البحثية عن ثقب المدفع، قدَّم المهندس الفرنسي سادي كارنو (١٧٩٦–١٨٣٢) الإطارَ الرياضي الأساسي لفهم كيفية عمل المحرِّكات الحرارية عن طريق نقل الحرارة — على هيئة سيال حراري — من خزانٍ ساخن إلى آخرَ بارد ليؤسِّس بذلك لعلم الديناميكا الحرارية. وتمامًا كمثل نظرية بطليموس عن مركزية الأرض أو نظرية الفلوجيستون، يمكن للنظريات الخاطئة في أيدي العلماء المهرة مع ذلك أن تفسِّر الكثيرَ من الأشياء بصورة صحيحة.

كانت نظرية رامفورد التي مفادُها أن الحرارة هي شكل من أشكال الحركة تمثِّل فكرةً رائعة، لكنها ظلَّت غامضة مدة خمسين عامًا تقريبًا بعد ثقب رامفورد لمدفعه. وفي شهر يونيو لعام ١٨٤٥، أجرى الفيزيائي الإنجليزي جيمس بريسكوت جول (١٨١٨–١٨٨٩) تجاربَ أكثر دقة على غرار تجارب رامفورد، وتمكَّن من برهنة أن الحرارة متناسبة مع مفهوم نيوتن عن الطاقة الحركية، وهي الطاقة التي تحوزها الأشياء نتيجة حركتها. وبعد حوالي خمسة وعشرين عامًا، أي حوالي عام ١٨٧٠، دمج كلٌّ من الفيزيائي الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل (١٨٣١–١٨٧٩) ولودفيج بولتسمان (١٨٤٤–١٩٠٦) بشكل منفصل النظريةَ الحركية للحرارة ونظرية كارنو عن الديناميكية الحرارية

مع النظرية الذريَّة للمادة، ليؤسِّسا بذلك لعلم الميكانيكا الإحصائية أو الديناميكا الحرارية الحديثة. إذ زعما أن درجة الحرارة هي متوسط الطاقة الحركية للذرات المتحرِّكة، وهي المكافئ لمفهوم «الجسيمات» عند بويل والتي «يدور بعضها حول بعض، بحيث يسعى كلٌّ منها للتغلب على الجسيمات الأخرى جميعها». فحينما ترتفع حرارة جسمٍ ما، فإن ذرَّاته تتحرَّك بسرعةٍ أكبر، ومِن ثَمَّ تتمتع بطاقةٍ حركية أكبر وبذا تعلو درجة حرارته. وحين يبرد ذلك الجسم، تتحرَّك ذرَّاته بسرعة أقل وتكون طاقتها الحركية أصغرَ، وبهذا تنخفض درجة حرارته. هنا تُصبح درجة الحرارة والحركة وجهين لعملة واحدة، وتتقلَّص ظاهرتان كانتا فيما مضى مستقلتين — وهما الحرارة والحركة — فتصبحان ظاهرةً واحدة. أضحى السيال الحراري كيانًا آخرَ يفوق وجوده الضرورةَ والحاجة، ومن خلال الديناميكا الحرارية، نزلت قوانين نيوتن البسيطة من السماء عبْر العالَم الأرضي حيث قذائف المدافع والتفاح إلى العالَم المجهري للذرَّات المتحركة.

تطبيق مبدأ البساطة

ألقِ نظرةً أخرى على جهاز حجرة الفراغ الخاص ببويل وهوك (ارجع إلى الشكل ١٠-٢) حيث تمكَّنت مساحةٌ من الفراغ كما يبدو من رفع وزنٍ مقدارُه مائة رطل أمام مشاهدين فُغرت أفواههم «في اندهاش بالغ». هل يذكِّرك هذا بشيء؟ ربما يذكِّرك بأسطوانة محرِّك الاحتراق الداخلي الذي يزوِّد سيارتك بالطاقة، إن لم تكن كهربائية، أليس كذلك؟

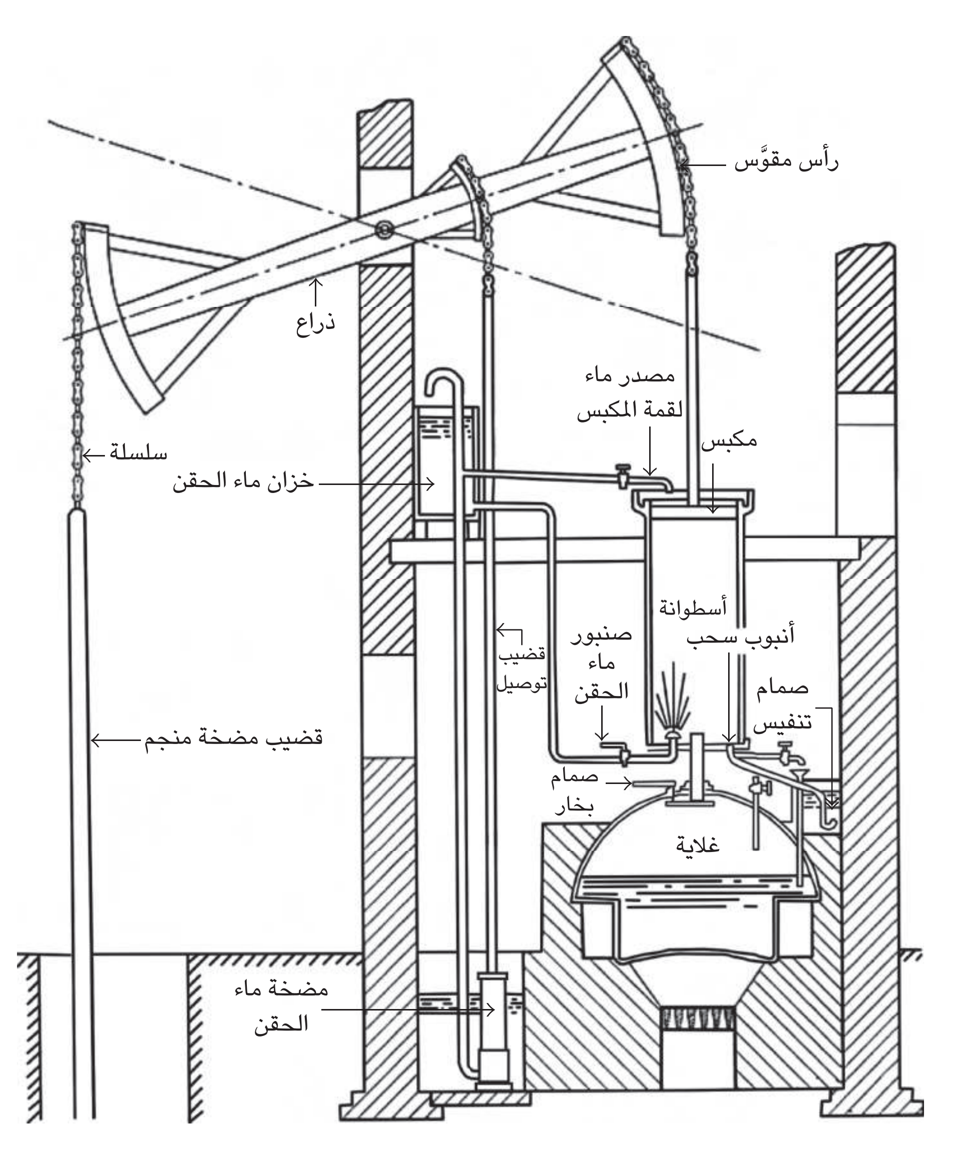
انطلاقًا من انبهارهم بإمكانات فراغ بويل في رفع الأحمال الثقيلة، حاول العلماء والمخترعون والمهندسون الاستفادةَ من القوة المحرِّكة الناتجة عنه. في عام ١٦٧٩، أتى الفرنسي إيجينو ديني بابين (١٦٤٧–١٧١٣) بفكرةِ تكثيف البخار داخل حجرة ليشكِّل فراغًا يسحب مكبسًا. وبهذا يكون قد اخترع المحركَ ذا الشوط الواحد. وفي عام ١٦٩٨، حصل المهندس العسكري الإنجليزي توماس سيفري (١٦٥٠–١٧١٥) على براءة اختراعٍ لاختراعه مضخةَ ماء تعمل بتكثيف البخار داخل أسطوانة. وبعد عقد من ذلك، صمَّم تاجر الحدائد والواعظ غير الإكليريكي المعمداني توماس نيوكامن (١٦٦٤–١٧٢٩) مضخةً مشابهة، سمِّيت بـ «صديقة عمال المناجم» هدفها إزالة المياه من المناجم المغمورة بها؛ إذ كانت تلك مشكلة كبيرة أثناء نشأة صناعة تعدين الفحم.

كانت مضخة نيوكامن محركًا جويًّا يعتمد — تمامًا كما في تجربة بويل — على وزن الهواء الجوي لتحريك المكابس. وفي عام ١٧٦٤، فصل الكيميائي والمهندس الميكانيكي

والمخترع الاسكتلندي جيمس وات (١٧٣٦–١٨١٩) أسطوانة شوط القدرة عن أسطوانة التكثيف؛ الأمر الذي جعل المحرِّك أكثرَ كفاءة بكثير في استخدام الطاقة. كما أتى أيضًا بالفكرة الثورية المتمثِّلة في غلق الأسطوانات عند طرفيها واستخدام تمدُّد البخار القائم على الحرارة لدفع المكبس خارجًا، وكذلك تكثيف البخار القائم على مادة تبريد لسحب المكبس إلى الداخل. وبهذا يكون قد اخترع المحرِّك البخاري.

كانت المحرِّكات البخارية الأولى لا تُستخدم إلا كمضخات، لكنَّ وات استبدل بالذرِّاع المتأرجحة عند نيوكامن بكرةً تتحرَّك من ذراع المحرِّك من خلال مجموعة من التروس: وهذا هو المحرِّك الدوَّار. سرعان ما تبنَّى هذا النظام أصحابُ المصانع في بريطانيا الصناعية، مثل مُصنِّع المنسوجات القطنية ريتشارد آركرايت، فتحوَّلت صناعة القطن من استخدام الماء إلى الدفع البخاري الفائق. وقد واتت مهندس التعدين الكورنوولي ريتشارد تريفيثيك (١٧٧١–١٨٣٣) فكرةٌ عظيمة تتمثَّل في تثبيت محرِّك بخاري قابل للحمل على عربةٍ ذات عجلات، ومِن ثَم طوَّر مركبة ذات محرِّك مستقل، سُمِّيت بالشيطان النافث. وفي عشيةِ عيد الميلاد عام ١٨٠١، حمل الشيطان النافث ستة ركَّاب في شارع فور بكامبورن وأكمل مسيره حتى قرية بيكون المجاورة. هنا كانت الثورة الصناعية قد بدأت تتحرَّك.

حظي محرِّك تريفيثيك بمزيد من التطوير على يد المهندسين مثل جورج ستيفنسون (١٧٨١–١٨٤٨) وروبرت ستيفنسون (١٨٠٣–١٨٥٩)، ليصبح مصدرَ الطاقة للثورة الصناعية ومنبعَ أكبر زيادة في الإنتاج الصناعي شهدها العالَم من قبل. ففي المملكة المتحدة وحدَها، ارتفع إنتاج الفحم من حوالي ٢٠ مليون طن في العام الواحد عام ١٨٢٠ إلى حوالي ٣٠٠ مليون طن بعد مرور قرن من الزمن. وبالمثل بعد قرون من الركود، ارتفع إنتاج المحاصيل الزراعية حيث أصبحت الزراعة مميكنة بصورةٍ متزايدة. وأصبح التقدُّم والإنتاجية في الثورة الصناعية أسيِّين.[١] وبالطبع مثل عصري النهضة أو الإصلاح، من الواضح أنه كان ثمَّة أسباب عديدة لهذا التغيير، منها نشأةُ الرأسمالية والإمبريالية، وتوافر الإمداد من الفحم، والعمالة الرخيصة واستيراد التقنيات الأجنبية من أماكنَ بعيدة جدًّا كالصين، وتوافر أسواق أكبر، وكذا توافر الأرباح السهلة من تجارة العبيد. ومع ذلك، فقد لعِبت اختراعات مثل أنواع المحرِّك البخاري المختلفة دورًا كبيرًا من دون شك، إلا أن تطوُّرها الأسي فيما يتعلق بالمردود لم يكن ليصبح ممكنًا إلا من خلال استخدام نماذج معظمُها مرسوم بحبرٍ على ورق، غير أنها تمثِّل قوانين بسيطة كقوانين بويل أو نيوتن أو كارنو أو بولتسمان.



شكل ١٢-١: محرِّك نيوكامن البخاري الجوي.

النماذج تمثِّل المعرفة. إنها تمثِّل تركيبَ الآلات وديناميكيتها وعملها، وعادةً ما يكون ذلك بلغة الهندسة والرياضيات. ويمكن للنماذج أن تكون بسيطة كرسمةِ محرك بخاري، مثل محرك نيوكامن الذي ظهر في عام ١٧١٢ والذي يشير إلى مفهوم بويل الخاص بـ «وزن الهواء» لتفسير حركة المكبس. والميزة التي تجعل هذه النماذج مفيدةً هي إمكانية إدخال تحسينات عليها، وذلك في شكل حلقة من التغذية الراجعة الإيجابية التي تؤدي إلى زيادة أسية في الأداء. إلا أن فائدة تلك النماذج تنعدم من دون شفرة أوكام.

تخيَّل محاولتك إنشاء محرك بخاري إن كان نموذج عمله مبنيًّا على مفهوم «الروح العارفة» الخاص بمور. كيف يمكن لك أن تطوِّره؟ هل ستتضرع لتلك الأرواح؟ حين يفشل هذا النهج، فإن ملجأك الوحيد سيكون هو عملية التجربة والخطأ البطيئة، تلك العملية التي نتج عنها معظم الابتكارات على بسيطةِ كوكبنا، بما في ذلك الحياة نفسها، وذلك منذ فجر التاريخ. لقد تغيَّر كل هذا حين تحوَّل المهندسون والعلماء إلى استخدام نماذجَ تجسِّد معرفتهم وقوانينهم العلمية والتي كما حثَّ بويل «ينبغي أن تكون هي الأبسط: أن تكون خالية على الأقل من كلِّ ما هو غير ضروري». وبوجود النماذج التي مرَّت على شفرة أوكام في متناولنا، تمكَّن العلماء والمهندسون من التنبؤ بالتعديلات التي من شأنها تحسينُ الأداء. فإن تحقَّق تنبؤهم، حينها كان يعلم المهندس أو العالم أن نموذجه كان صوابًا؛ وإن كان غير ذلك، فإنه يعدِّله حتى يتحقق تنبؤه ويحصل على التطويرِ المرجوِّ. حينها يكون نموذجه المطوَّر نقطةَ انطلاق لتحقيق أوجه تقدُّم أخرى. وبوجود حلقة التغذية الراجعة الإيجابية هذه، انتقل التطوُّر التقني من معدَّل التطوير الخطي الناتج عن استخدام عملية التجربة والخطأ إلى تحقيقِ تقدُّم أسيٍّ والذي أصبح هو سِمة العصر الحديث.

قبل أن نكمل رحلتنا، يجب أن ننظر مرةً أخرى في تجارب كونت رامفورد الشهيرة. لقد فسَّرت قوى نيوتن الميكانيكية مفهومَ نقْل الحركة والحرارة مما يبذله الجياد من جهدٍ إلى عُدة الفرس والمثقاب والمدفع والماء؛ لكن كان هناك عنصر حيوي مستبعَد من سلسلة نيوتن عن الأسباب والنتائج: ألا وهو الحصان. كيف أدَّى جهده إلى تحريك العملية بأكملها؟ كيف تحرَّكت أطرافه؟ أيمكن لعلم نيوتن أن ينطبق أيضًا على الجياد والحيوانات الأخرى والنباتات والميكروبات؟ رغم أن ديكارت كان قد اقترح أن الحيوانات مجرَّد آلات، فإن معظم علماء الأحياء في القرن الثامن عشر ظلُّوا مشككين في ذلك، ودفعوا بأن قوى

نيوتن غيرُ كافية لتفسير أشكال الحركة الذاتية في الحياة. واقترحوا عوضًا عن ذلك أن الحياة تتحرَّك من خلال «قوًى حيوية» لا تنصاع لقوانين نيوتن. ولكي نكتشف حقيقةَ ذلك، سنذهب لصيد السمك بالجياد.

هوامش

(١) مثل ما يجري في الفائدة المركَّبة، يجري تغذية النظام بالزيادة لزيادة معدَّل الزيادة.

الجزء الثالث

شفرات الحياة

الفصل الثالث عشر

الشرارة الحيوية

دراسة الروح ذاتُ أهمية قصوى. لكنَّ استقصاءها يبدو مهمًّا من أجل تقصِّي الحقيقة على وجه العموم، ودراسة الطبيعة على وجه الخصوص. ذلك أن الأرواح هي جوهر الحياة الحيوانية.

أرسطو، «عن الروح»

دَور العلم هو «استبدالُ بساطة خفيَّة بتعقيدٍ ظاهر».

جان بابتيست بيرين

بزغ ضوءُ النهار على سهول اللانوس العشبية في وسط فنزويلا بينما كانت تنطلق مجموعةٌ من السكان المحليِّين بأمريكا الجنوبية بصحبة اثنين من الرجال البيض الأوروبيِّين على ظهر الجياد من قرية راستو دي أباكسو بحثًا عن ثعابين البحر أو الأنقليس. نحن الآن في صباح يوم التاسع من شهر مارس لعام ١٨٠٠، وهو فجرُ قرن سيعجُّ بالاضطرابات الاجتماعية والثورات العلمية، لكن فنزويلا كانت تقبع في انعزالٍ وتخلُّف. على الأرجح أن المرشدين المحليِّين كانوا أعضاء في إحدى عشائر جوايبو العديدة التي كانت تقطن حينها سهولَ اللانوس الممتدة شرق المرتفعات الشمالية لسلسلة جبال الأنديز. وأسماء أولئك المحليِّين غيرُ مسجَّلة، لكنَّ اسمَي الرجلين الأبيضين هما إميه بونبلان (١٧٧٣–١٨٥٨) وألكسندر فون هومبولت (١٧٦٩–١٨٥٩). كان بونبلان عالِمَ نباتات فرنسيًّا يتمتَّع بالقوة ورِباطة الجأش، فيما كان هومبولت عالِمًا ومستكشِفًا بروسيًّا على قدرٍ من الوسامة والنحالة، ويهتم اهتمامًا كبيرًا بطبيعة الحياة والكهرباء. المأساة أن السكان الأصليِّين

لسهول اللانوس كادوا يفنُون عن بكرةِ أبيهم. إلا أن أحد آخر المستكشِفِين الغربيِّين الذين التقَوا بهم ووصفوهم قدَّم سردًا رائعًا عن تقاليدهم وخرافاتهم وأساطيرهم، وهو البارون هيرمان فون فالدي-فالديج.[1]

وردَ وصفٌ لهذه الرحلة الاستكشافية في كتاب هومبولت بعنوان «سرد شخصي»،[2] وهو كتابٌ ألهم فيما بعدُ تشارلز داروين وألفريد راسل والاس. تقدَّم المرشدون الرجلين الأبيضين نحو مجرًى مائي كان يتقلَّص إلى بحيرة موحلة في الفصل الجاف «تحيط بها أشجار جميلة؛ منها أشجار الكلوسيا والأمريس والميموزا ذات الأزهار العطِرة». ولدى وصول المرشدين، شرحوا أن المياه العكِرة تعجُّ بثعابين البحر القوية والمعروفة باسم «مسبِّبة الرعشات» والتي يمكن لصدماتها الكهربائية المؤلمة أن تشل حركةَ إنسان بالغ أو حتى تقتله. وإلى جانب أن ثعابين البحر تلك شديدة الخطورة، فإن صيدها أيضًا في غاية الصعوبة؛ ذلك أنها تدفن نفسها في الوحل. لكن كان لدى السكان المحليِّين وسيلةٌ عبقرية لصيدها، وهي «الصيد بالجياد».

حيَّرت هذه العبارة المستكشفَين، لكنهما جمعا معداتهما وجهَّزاها لتشريح الصيد المرتقَب ودراسته، بينما انطلق مرشدوهما في الغابة المحيطة. ولم يكن يتحتَّم على الرجلين الانتظارُ طويلًا. فقبْل وقت الظهيرة، قطع هدير حوافر الجياد وهي تقترب طنينَ الغابة — إذ كانت الحوافر كثيرةً للغاية. ركض الفُرسان إلى الفسحة في الغابة وهم يقودون قطيعًا يتألف من حوالي ٣٠ جوادًا وبغلًا بريًّا. وبنخزات من حرابهم وضرباتٍ من عصيهم المصنوعة من الخيزران، قاد الرجال الجيادَ إلى البِركة التي اضطربت مياهها ذعرًا وخوفًا «بثعابين بحر ضاربة إلى الصفرة وأخرى زرقاء رمادية، تشبه ثعابين مائية كبيرة». هاجمت الثعابين المضطربة غزاة البحيرة، وذلك بأن دفعت نفسها نحو بطون الحيوانات صاعقةً إياها بالكهرباء مرة تلو الأخرى فاهتاجت الجياد في جنون: فكان ذلك «صراعًا بين حيوانات ذات طبيعة مختلِفة [ما] أمدَّنا بمشهد مذهل أخَّاذ».

في غضون خمس دقائق، غرِق اثنان من الجياد. وتمكَّنت عدة جياد من الخروج إلى الضِّفة وهي تتعثر في ارتعاش وإنهاك، لكن ظلَّت بقية القطيع تعاني هجمات متكررة من الثعابين. بدا الأمر لبرهة أن الجياد التي استُخدمت طُعمًا ستستسلم إلى حتفِها الموحل، لكن هجمات الثعابين هدأت تدريجيًّا؛ حيث بدا أن الأسماك أُنهِكت فانسحبت إلى حافة البحيرة. هنا بدأ الصيد الحقيقي حيث تمكَّن الرجال وهم مسلَّحون بحراب قصيرة مربوطة إلى حبال جافة من الإمساك بخمسة ثعابين بحر حيَّة. سُرَّ هومبولت وبونبلان

بذلك. كانت الثعابين الصاعقة الخمسة تمثِّل كنزًا علميًّا ثمينًا سيساعد في حل لغز أكثرِ الجدالات العلمية إثارةً للجدل في القرن الثامن عشر: ألا وهو طبيعة الحياة.



شكل ١٣-١: صيد ثعابين البحر الصاعقة بالجياد.

بعد أن هجر قرونًا طويلة من التكهُّنات الغامضة، كان رينيه ديكارت قد أطلق الثورة الميكانيكية في القرن السابع عشر، وذلك عن طريق إصراره على أن كل المادة الموجودة في الكون — سواء كانت في صورتها الحية أو الجامدة — تتكوَّن من دوَّامات دوَّارة من جسيمات جامدة. لكن التفسيرات الميكانيكية للحياة لم تفلح في إقناع معظم العلماء. وقد قارن ديكارت الحياةَ بعمل الساعة إلا أن قلة من العلماء فقط هم مَن أخذوا على محمل الجِد فكرةَ أن الساعات وطيور الوقواق تعملان بالآليات نفسها. إذ إن الاختلافات في الحيوية والتعقيد بينهما — والتي كانت جليَّة بالفعل للعين المجرَّدة — أصبحت حتى أكثر وضوحًا من خلال الكشف المجهري لأوجه التعقيد الداخلية في الكائنات الحية. وظلَّ الرأي المهيمن خلال أوائل القرن التاسع عشر أن الحياة مدفوعة بـ «قوة حيوية» يمكن لها حتى أن تقذف بنفسها خارجَ أجساد الحيوانات — كثعابين البحر مثلًا — لتصعق حيواناتٍ أخرى، كالجياد. وتمتد جذور هذا الاعتقاد لآلاف الأميال وتضرب في الزمن عائدة لآلاف السنين.

ما الحياة؟

كما هو الحال في الملحوظة التي أبداها القاضي بوتر ستيوارت حين لم يتمكَّن من تعريف الإباحية حيث قال «أعرفها حين أراها»،[3] فإن من السهل على نحوٍ مماثل إدراكَ وجود الحياة، لكن من الصعب وضعُ تعريف لها. غالبًا ما يقال إن التناسل هو ما يُعرِّف الحياة، إلا أن خلايا الأعصاب والدم وكذا (غالبية) الرهبان البوذيِّين أو القساوسة الكاثوليكيِّين لا يتناسلون، لكنهم ومع ذلك على قيد الحياة. ويُقال أيضًا إن عملية الأيض تمثِّل إحدى السمات المميِّزة للحياة، إلا أن من الصعب تمييزَ سيلِ التحولات الكيميائية التي تحوِّل الغذاء إلى فضلات من التفاعلات الكيميائية التي تسبِّب احتراقَ قطعة خشب، على سبيل المثال. وحتى مفهوم التطوُّر نفسه، المسئول عن التنوُّع المذهل في الحياة، فإنه غير ضروري حين يتعلَّق الأمر ببقائها، أو هو كذلك على الأقل على المدى القصير. لو استطعنا بطريقةٍ ما أن نعلِّق التطورَ مؤقتًا، لِنقُل مدة مليون سنة، فإن المحيط الحيوي بالكاد سيلحظ ذلك، وذلك باستثناء وقوع كارثة.

لكن لاحظ معظمُ القدامى أن الأشياء من حولهم تنتمي إلى صنفَين رئيسيِّين. الأول يشتمل على الصخور أو الخشب الطافي أو المجروف أو الرمال أو الحصى، وهي أشياءُ جامدة بمعنى أنها لا تتحرَّك إلا إذا ما سُحِبت أو دُفِعت. وقد وصف القدامى تلك الأشياءَ بأنها «ميتة». أما الصنف الثاني فاشتمل على السلطعون الذي يزحف على الصخور، أو السمك الذي يسبح في البحر أو الطيور التي تطير في السماء أو العشب الذي يشق طريقَه عبْر الكثبان الرملية. تلك الأشياء تتحرَّك بمعنى أنها قادرة على القيام بحركاتها بنفسها. وقد وُصِفت تلك الأشياء بأنها «حية».

بعد أن عدَّ الفلاسفة القدامى الحركةَ المدفوعة ذاتيًّا بأنها السِّمة المميِّزة للحياة، طرحوا السؤال التالي: ما الذي يسبِّب حركات الحياة التي تفتقر إلى محرِّك بيِّن؟ وكانت الإجابة التي اتفقوا عليها جميعًا تقريبًا هي أن الأشياء الحية التي تكون حركتها مدفوعة ذاتيًّا تتحرَّك بفعل «روح» من نوعٍ ما سحرية أو خارقة للطبيعة. بل إنهم صنَّفوا الأجرامَ السماوية حتى والتي تتحرَّك من دون محرِّك ظاهر لها على أنها كائنات حية تتحرَّك بفعل أرواح سماوية. بل حتى الرياح أو مجاري المياه أو العواصف أو الأمواج كانت تُعَد حيَّة بفعل عواملَ تمتلك أرواحًا كالأشباح أو العفاريت أو الجنيَّات أو الشياطين أو الآلهة. وكما علَّق المؤرِّخ الروماني من القرن الثالث دايوجينيز لايورشيس: «كان العالَم [القديم] حيًّا ويعجُّ بالآلهة».[4]

السِّحر والغموض والسمكة الصاعقة

كانت الفرضيةُ أو النموذج القائل بأن الحركةَ المدفوعة ذاتيًّا تساوي الحياةَ، تعملُ بشكل ممتاز. لكن كانت هناك حالات استثنائية. أحد تلك الأوجه هو حجر المغناطيس، الذي ظاهريًّا هو حجرٌ كأي حجر سواه، لكنه كان يمتلِك خاصية إحياء — بمعنى تحريك — المسامير والأشياء الحديدية الصغيرة الأخرى. نعرفه نحن اليوم بأنه شكلٌ من أشكال معدن المجنيتيت (أكسيد الحديد) الممغنط طبيعيًّا، لكن في العالَم القديم كان يُعتقد أنه شيء حي ويحوي روحًا سحرية يمكنها أن تمدَّ يدها لتدفع أو تسحب الأشياءَ البعيدة. وكما شدَّد الفيلسوف المعروف باسم طاليس (الذي وُلد حوالي عام ٦٢٤ قبل الميلاد فيما يسمى اليوم تركيا): «حجر المغناطيس يحوي حياة أو روحًا؛ ذلك أنه قادر على تحريك الحديد». بدت القِطع الشبه الشفافة ذاتُ اللون البني الضارب للصفرة والتي توجد أحيانًا منثورةً على شواطئ البحر المتوسط، مادةً سحريةً أخرى؛ حيث بإمكانها جذبُ ألياف القماش الناعم أو القش الجاف، خاصة بعد أن نفركها في القماش. أطلق اليونانيون القدماء على تلك المادة الجاذبة «الإلكتروم»، لكننا نعرفها اليوم باسم الكهرمان.



شكل ١٣-٢: سمكة رعَّاد.

عرف القدماء أيضًا حيواناتٍ بدا أنها تحوز السمةَ الغامضة التي تتمثل في التصرُّف عن بُعد. أحدها كان سمكة الرعَّاد في البحر المتوسط، التي تَستخدم لسعتَها كما يفعل سمك الرقيطة في ردعِ المفترِسات أو صيد الفرائس أو صعق الصيادين الجوعى. وعلى عكس سمك الرقيطة، فإن صعقة سمك الرعَّاد قادرة على المرور عبْر خيط الصيد أو شبكة الصيد أو الرمح لتصعق الصيَّاد من دون حتى أن تلمِسه. كان يُعتقد على نطاقٍ واسع أن هذا دليل على وجود روح غيرِ مادية قادرة على الوصول إلى ما يفوق حدودَ الجسم المادي. وكما شدَّد الشاعر الروماني أوبيان من كوريكوس، وذلك في حوالي عام ١٧٠ ميلاديًّا، فإن سمك الرعَّاد «يمارس قواه السحرية وسحره المسموم».[5]

كان يُستشهَد كذلك بالأشياء والمخلوقات السحرية على أنها دليل على اتساع نطاق عمل القوى السحرية في الطبيعة: أي، المبدأ الحيوي. إذ حاجج بلينيوس الأكبر (٢٣–٧٩ ميلاديًّا) قائلًا: «أليس كافيًا جدًّا أن نستشهد في حالة سمك الرعَّاد بكائن آخر من الكائنات البحرية، كدليل على قوى الطبيعة الجبَّارة؟».[6] وبالمثل، سأل إسكندر الأفروديسي (حوالي عام ١٥٠ – حوالي عام ٢١٥ ميلاديًّا) الذي كان يدرِّس في أثينا قرب عام ٢٠٠ ما يلي:

> لماذا يجذب حجرُ المغناطيس الحديدَ فحسب؟ لماذا لا تجذب المادة المسمَّاة بـ «الكهرمان» إليها إلَّا القش الجاف والهشيم، ما يجعلها تلتصق بعضها ببعض؟ … لا أحد يجهل الرعَّاد البحري. كيف يمكن له أن يخدِّر الجسمَ عبْر خيط الصيد؟ … يمكنني أن أعدَّ لك قائمة بالكثير من مثل هذه الأشياء التي لا نعرفها إلا من خلال التجربة ويقول الأطباء إنها «سمات لا يمكن تسميتها».[7]

لقد أصرَّ القدامى على أن الحياة كانت نوعًا من أنواع السحر الأخرى، ما أدَّى إلى سيادة الاعتقاد القائل بأن المرض والصحة يمكن أن يتأثرا بالسِّحر الطبيعي.

كان كلاوديوس جالينوس — الذي وُلِد في بيرجامون فيما هي اليوم تركيا (١٢٩– حوالي ٢١٦ ميلاديًّا) ويُعرف عادة باسم جالين — أشهر الأطباء في العالم الروماني. عمل جالين طيلةَ سنوات عديدة كجرَّاح لمدرسة المجالدين المحليَّة، وذلك دورٌ أمدَّه بمعرفة تفصيلية بتشريح الجسم البشري، قبل أن ينتقل إلى روما. وقد استلهم اهتمامَه بالطب من إحدى النظريات المبكِّرة لأبقراط (صاحب القسم الشهير) التي زعمت أن الصحة تعتمد على توازن دقيق بين الأخلاط الأربعة، وهي الدم والسوداء والصفراء والبلغم. وأضاف

جالين زعمًا آخرَ بأن اقترح أن الأخلاط الأربعة تبقى في توازن بفعل أرواح حيوية، أو ما يُطلق عليه باللاتينية «الروح الحيوية» التي تعمُّ الكون بأسرِه. كما كان يُعتقد أن تلك الأرواح الحيوية — التي تضاهي التشي في الطب الصيني، أو الفايو في الطب الهندي — تمدُّ الكهرمان بقواه الخفيةِ التي يتمتع بها، أو سمك الرعَّاد باللسعة التي يشتهر بها. كانت تلك الأرواح هي المادةَ التي ترتكز عليها الروح الحيَّة.

اعتقد جالين أن الأمراض سببُها اختلال توازنٍ في الأخلاط، وأن استعادة توازنها ممكن من خلال الاستخدام المناسب لأشياءَ سحرية. لذا أوصى بتناول لحم سمك الرعَّاد لعلاج الصرع، فيما يجب أن تُعالج حالات الصداع الشديد بوضع سمكة رعَّاد حية على الرأس. وبالمثل، وصف بلينيوس تناولَ وجبةٍ من لحم السمكة نفسِها لعلاج حالات الولادة المتعسِّرة، لكن ذلك فقط حين «يتم اصطياد السمكة عندما يكون القمر في برج الميزان وتبقى السمكة في العراء مدة ثلاثة أيام». كما اقترح أيضًا أن «الشهوة [الجنسية] تُثبَّط ... إذا ما وُضعت مرارةُ سمكة الرعَّاد على الأعضاء التناسلية في حين لا تزال السمكة على قيد الحياة».[8]

بالطبع قد تثبُتُ فاعلية الأفكار السيئة حتى في بعض الأحيان. فأنا أعتقد أن وصفةَ بلينيوس بوضع مرارة سمكة الرعَّاد الحية على الأعضاء التناسلية يمكن أن تثلِّم من شهوةِ حتى أعتى الشباب. ووضْعُ سمكة الرعَّاد الحية على الرأس كعلاج يمكن أيضًا في بعض الأحيان أن يكون فاعلًا؛ حيث ثبَت أن العلاج بالصدمات الكهربائية يسبِّب بعضَ الارتياح لدى مَن يعانون الصداعَ النصفي المزمن.[9] لكن تناوُل لحم سمكة الرعَّاد لم يكن ليقدِّم فائدة للمرضى أكثرَ من تناولهم أيَّ وجبة مغذية أخرى.

كان نهج جالين في الطب مع ذلك سابقًا لعصره وزمنه، رغم وصفاته المريبة. كما كان أيضًا شديد الاهتمام بالتجريب على الحيوانات رغم أن ذلك قد يبدو إلى الإنسان المعاصر من قسوة القلب. ففي إحدى المرات التي قام فيها بتشريح خنزير حي، قطع بالخطأ العصبَ الحنجري الذي يصل الحنجرة بقاعدة المخ. ولاحظ أن صرخات الخنزير الحادة توقَّفت من فورها، رغم أن معاناته لم تتوقَّف. فخلَص جالين إلى أن «الروح الحيوانية» وهي القوة الحيوية التي يُعتقد أنها تحرِّك الأشياءَ الحيَّة تتدفق عبْر الأعصاب. وعلى قدرِ ما ينتهي إليه عِلمنا، كانت تلك هي المرة الأولى التي يتم فيها ربطُ الأعصاب بحركة الحيوانات.

الميزة العسكرية للسمكة السحرية

حين مات جالين حوالي عام ٢١٦ بعد الميلاد، فقدْنا على نحوٍ كبير نهجه العقلاني في الطب، إلا أن جرعاته السحرية وعلاجاته المريبة نُقِلت بصدق وأمانة في الكتب القديمة إلى العرب، ومنهم إلى العالَم الغربي. هناك، اختلطت تلك الأشياء بالمفاهيم السحرية المسيحية وغير المسيحية، فأنتجت مزيجًا غامضًا من العلاجات الطبية الغريبة.

أحد أغربها كان يقوم على سمكة سحرية أخرى، تُعرف باسم «اللشك». كان بلينيوس قد وصفها بأنها «سمكة صغيرة» يمكن لها أن تلصق نفسَها بسفينةٍ، وأن تشلَّ حركتها «من دون بذل جهد من جانبها، لا بالضغط على السفينة ولا بفعل أي شيء آخر سوى الالتصاق بها». وقد أُلقيَ باللوم على سمكة اللشك لإيقافها سفينة القيادة الخاصة بمارك أنطوني في معركة أكتيوم، ما جعلها هدفًا سهلًا لقوات أوكتافيوس. وبحلول الوقت الذي شقَّت فيه سمكة اللشك طريقَها إلى العالَم العصرأوسطي، كانت قد التحقت بسمكة الرعَّاد كعنصر فعَّال في الجرعات السحرية. إذ وصف ألبرت العظيم — الذي تذكُر أنه مَن علَّم توما الأكويني — «مُعطِّلة السفن» بأنها سمكة مطلوبة لدى السحرة الذين يستخدمونها في إعداد تعاويذ الحب. إلا أنه لم يرَ أحد قط سمكةَ اللشك؛ الأمر الذي لا يثير الدهشةَ لأنها غير موجودة.

وقد استخدم الفلاسفة الإنسانويون في عصر النهضة بحماسةٍ الأشياءَ السحرية القديمة كالكهرمان وحجر المغناطيس والأسماك السحرية كعلاج طبي، وأيضًا كدليل على وجود قوًى خفية في الطبيعة. على سبيل المثال، المترجِم الفلورنسي مارسيليو فيتشينو الذي ترجم «متون هرمس»، كتب يقول: «سمكة الرعَّاد أيضًا تشلُّ اليدَ التي تلمِسها فجأة، حتى ولو على مسافة وعبْر عصًا»؛ بينما يسلِّط جوليوس سيزار سكاليجر (١٤٨٤–١٥٥٨) الضوءَ في البداية في كتابه «الكتاب الخامس عشر من التجارب العامة عن الغموض»، الذي نُشر عام ١٥٥٧ على ما تتمتَّع به سمكة الرعَّاد من قوة فيقول «تُخدِّر اليدَ خدرًا شديدًا» كدليل على وجود القوى الخفية الغامضة، ثم ينتقل بعد ذلك إلى انتقاد مَن «يظنون أن بإمكانهم تقليصَ كلِّ الأشياء إلى صفاتٍ ثابتة وواضحة …».

لذا فبالنسبة إلى المعادلة البسيطة والمنطقية تمامًا التي تقول إن القدرة الذاتية على الحركة تساوي الحياة، أضاف المتصوفون نطاقًا واسعًا ومتنوِّعًا من الأشياء والخواص السحرية. وكان التوجُّه العام مشابهًا كما شهدنا في مجالات أخرى من العلوم، كالفلك



شكل ١٣-٣: سمكة اللشك السحرية.

(أفلاك التدوير) أو الكيمياء (الفلوجيستون): إن لم يكن نموذجك مناسبًا للوقائع، فأضف المزيد من التعقيد. لكن كانت هناك مجموعة من المعارضين لهذا التوجُّه نحو الخيال. فقد كتب الفيلسوف الإنساني من عصر النهضة والمعاصر لويليام شكسبير ميشيل دي مونتين (١٥٣٣–١٥٩٢) يعرِب عن أسفه فقال:

> كم هي متحررة وغامضة تلك الأداة التي هي العقل البشري. أرى عادة أن المرء حين تُعرض الحقائق عليه أنه مستعد لأن يشغل نفسه بالبحث في أسبابها أكثرَ من استعداده لأن يبحث في مدى صحتها … عادة ما يبدأ المرء بالتساؤل: «كيف يحدث هذا؟». وما ينبغي أن يقوله هو: «لكن هل يحدث هذا فعلًا؟». إن عقلنا لقادرٌ على استيفاء مئات من العوالم الأخرى وإيجاد مبادئها وبنيتها … إننا نعرف أسسَ وأسباب آلاف الأشياء التي لم تكن موجودة قط …[10]

و«آلاف الأشياء التي لم تكن موجودة قط» تلك كانت بالطبع كياناتٍ فائضة عن الحاجة. كان ميشيل دي مونتين أيضًا من الفلاسفة الاسمانيِّين وبطلًا من أبطال «المذهب الجديد»،[11] الذين عرفوا قيمةَ شفرة أوكام في إيجاد نماذج أبسط.

صائدو الأشباح

قبل أربعة وخمسين عامًا من خروج ألكسندر فون هومبولت إلى الصيد في مراعي اللانوس، شكَّلت مجموعةٌ مكوَّنة من مائتي راهب من رهبان الكارثوس يرتدون أرديةً بيضاءَ في أحد أيام شهر أبريل لعام ١٧٤٦ سلسلةً يقارب طولها كيلومترين امتدَّت على نحوٍ متعرِّج على أرض ديرهم في باريس. وكان كل راهب منهم موصولًا بأخيه بسلك حديدي طوله خمسة وعشرون قدمًا. وفي نهاية السلسلة وقف الأب جان-أنطوان نوليه. وحين أصبح الكل مستعدًّا، أوصل الأب الراهب الأول بقارورة زجاجية، ثم قفز المائتا راهب جميعهم في وقتٍ واحد عند إنتاج الشرارة الكهربائية.

كان الأب نوليه يشغل منصب «كهربائي البلاط الملكي». قد يبدو هذا غريبًا بعض الشيء بالنسبة إلى أبٍ من أواسط القرن الثامن عشر، ولم يكن مطلوبًا من الأب بكل تأكيد أن يغيِّر مصابيحَ الإنارة البدائية أو أي أجهزة كهربية أخرى في قصور الملك، خاصةً أنها لم تكن قد جرى اختراعها بعدُ. عدا جهازٍ واحد، وهو قارورة لايدين. كانت تلك القارورة هي النجم الحقيقي لعرض الرهبان الباريسيِّين القافزين، حيث وفَّرت الصاعقةُ الكهربيةَ القادرةَ على الخروج من جسم القارورة — كمثل سمكة الرعَّاد. وقد سمَّى الأب نوليه القارورة باسمها ذلك بعد اختراعها بعدة عقود سابقة في مدينة لايدين بهولندا كقارورة لحفظ شيء من السحر.

تبدأ قصة قارورة الأب نوليه بالطبيب اللندني ويليام جيلبرت (١٥٤٤–١٦٠٣) الذي أشار إلى أنه في حين أن حجر المغناطيس كان قادرًا على جذب ونفر الحديد فقط، فإن قطعة كهرمان مفروكة باستطاعتها أن تجذب عدة مواد مختلفة كشظايا التبن أو الصوف أو الريش أو القش. كما اكتشف أيضًا أنه إن فركَ أشياءَ مثل الزجاج أو الأحجار الكريمة أو الإبونيت أو الصمغ أو شمع الأختام بالحرير أو الصوف، فإن بإمكانه «شحن» تلك المواد بحيث تحوز كالكهرمان القوةَ السحريةَ على تحريك الأشياء البعيدة. وأشار إلى أن تلك المواد المشحونة كهربيًّا ستطلق في بعض الأحيان بشرارة، وهو شيء لم يفعله حجر المغناطيس من قبل قط. وأطلق على هذه المواد المتنوعة اسم electricus

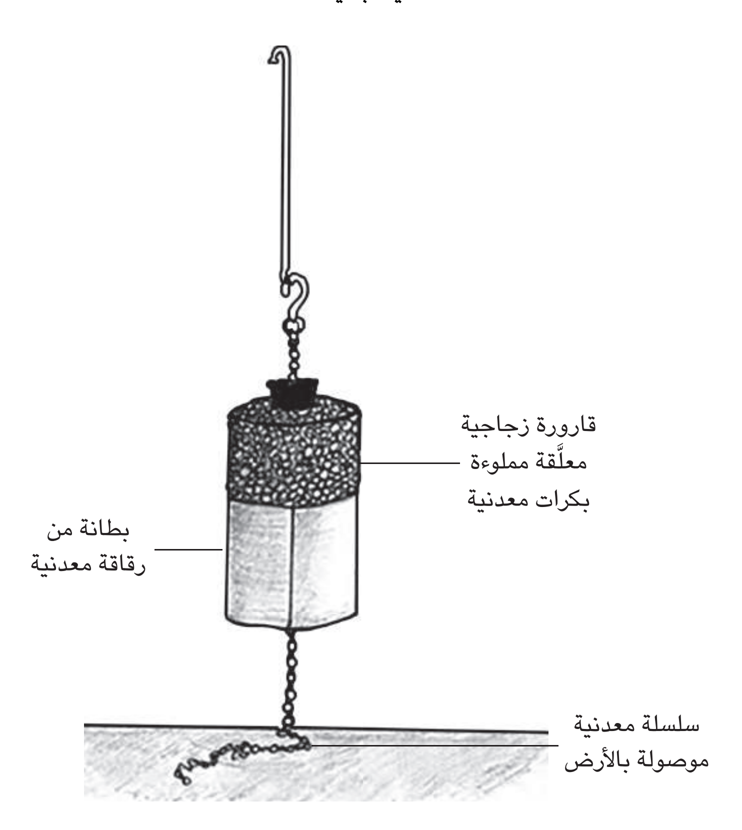
(من الأصل اللاتيني لكلمة كهرمان electrum) التي تعني المواد «الشبيهة بالكهرمان»، وهي الكلمة التي أسفرت لاحقًا عن المصطلح electrical الذي يعني كهربي.

وأدَّى اكتشاف قابلية نقل القوة الخفية من الأجسام الكهربية إلى فكرةٍ أن تلك القوة هي سائل من نوع ما؛ «سائل خفي» خارق للطبيعة. كما ألهم هذا أنصارَ الفكر الميكانيكي في القرن السابع عشر إنشاء أجهزة — تُعرف باسم آلات الاحتكاك — للحصول على ذلك السائل الخفي. أحد تلك الأجهزة كان كرة كبريتية دوارة قادرة على اكتسابِ ما يكفي من السائل الخفي لدى فركِها بالكهرمان أو القضبان الزجاجية لجذب الريش أو لإطلاق شرارة حين يُقرَّب منها قضيب زجاجي.

أدَّى ظهور شرارات لامعة من العدم إلى إلهاب افتتان بهذه «الكهرباء» الغامضة وشجَّع على هروبها من مختبرات السحرة إلى عالم الخدع السحرية وملاهي السيرك. وقد اكتشف ستيفن جراي (١٦٦٦–١٧٣٦) وهو صابغ حرير من كانتربري أن بإمكانه نقلَ «السائل» الكهربي عبْر خيوط من الحرير يصل طولها إلى عدة مئات من الأقدام. ألهمه هذا لتغيير مهنته ليصبح مؤدِّيًا كهربائيًّا يشتهر بخدعة «التلميذ المتطوع المتدلي» والتي يتدلَّى فيها صبي بخيوط رفيعة ثم «يُكهرَب» من قدميه بحيث يجذب الريش وشرائح النحاس إلى جسده. وكانت أبرز لقطات العرض حين تُعتِّم أضواء الغرفة ويقرَّب قضيب زجاجي بما يكفي لإطلاق شرارات تُحدِث فرقعةً من قدمي الصبي المتدليتين.

كان كل هذا لهوًا ويقدِّم تسلية رائعة، لكن السمات الميكانيكية القابلة للتنبؤ لهذا «السائل الكهربي» بدأت تتكشف تدريجيًّا من سُحب الغموض. على سبيل المثال، اكتشف جراي أن بإمكان الكهرباء الانتقال عبْر خيوط حريرية أو أسلاك معدنية، لكن ليس من خلال قضيب خشبي، ولا حتى تلك التي يُزعَم أنها عصيٌّ سحرية. وحوالي عام ١٧٤٥، اكتشف البروفيسور بيتر (بيتروس) فان موشنبروك (١٦٩٢–١٧٦١) من مدينة لايدين بهولندا أن بإمكانه الاستحواذ على «السائل الكهربي» وتخزينه من خلال نقله من قضيب زجاجي مفروك إلى قارورة زجاجية معزولة مملوءة بالماء. وذات يوم أمسك أحدُ أصدقائه من المحامين بالقارورة أثناء شحنها فسبَّب له ذلك صعقة بغيضة. وبعد ذلك ببضعة أيام حاول موشنبروك فعلَ الأمر نفسه، إلا أنه تلقَّى صعقةً مروِّعة حتى إنه كتب لاحقًا يقول: «أُصبت باضطراب كبير حتى إن جسدي اهتزَّ وكأن صاعقةَ برقٍ ضربتني. وقد تأثَّرت يدي وجسدي كله بهذا تأثرًا شديدًا بشكلٍ لا يمكنني التعبير عنه».

اكتشف موشنبروك أن بإمكانه تحسين قدرة تخزين جهازه الصاعق، وذلك بتبطينه من الداخل والخارج برقاقات معدنية. أيضًا وعوضًا عن الماء، ملأ القارورةَ بطلقات



شكل ١٣-٤: قارورة لايدين.

من الرصاص موصولةٍ بقضيب نحاسي يخترق سِدَادتَها. كانت تلك هي الآلة الكهربية الشهيرة التي سمَّاها الأبُ نوليه باسم قارورة لايدين، واستخدمها في الشحن الكهربي لسلسلة الرهبان. وقد سمحت سهولةُ تصنيعها بالإضافة إلى اكتشاف القدرة على وصل عدة قوارير منها بعضها ببعض على نحو متسلسل بتصنيع «بطاريات» أقوى (سمِّيت بالبطاريات تيمنًا ببطارية الذخيرة)، قادرةٍ على صعق صفوف من الثيران ومصارعين ضخام وجنود وكذلك الرهبان بالطبع. وباستئناس هذا الجهاز وسهولة الحصول عليه، لم يمرَّ وقت طويل قبل أن يتذكَّر أحد الحضور في عرضٍ سحري شرارةً أقوى بكثير تولَّدت في الهواء/الطبيعة.

الإمساك بالبرق في قارورة

أثناء زيارة له إلى بوسطن عام ١٧٤٣، شهد طابع وناشر صحفٍ يُدعى بنجامين فرانكلين (١٧٠٦–١٧٩٠)، وكان يبلغ من العمر حينها سبعة وثلاثين عامًا، «الكهربائي» آدم سبنسر من إدنبرة وهو يقدِّم خدعةَ «إنتاج شرارات نار تنبعث من وجه ويدي صبيٍّ يتدلَّى أفقيًّا». ورغم أنه أصبح شهيرًا فيما بعدُ باعتباره أحدَ أعظم ساسة أمريكا، فإن خدعة الصبي الذي يلتمع شررًا ألهبت في فرانكلين افتتانًا لازمه طوال حياته بالكهرباء وعزمًا على اكتشاف أسرارها.

بعد عدة سنوات من التجريب في منزله، كتب فرانكلين عام ١٧٥٠ رسالةً إلى الجمعية الملكية في لندن، يقترح أن الأجسام الكهربائية إما أنها تحوز على فيضٍ من السائل الكهربي (حين تكون مشحونة إيجابيًّا) أو أنها مستنفدة منه (حين تكون مشحونة سلبيًّا) أو أنها محايدة. واقترح أن أي اختلال — تمامًا كما في خدعة الصبي المتدلي — سيؤدي إلى تدفُّق الكهرباء، وفي بعض الأحيان يحدث عن ذلك شرارة. أما اقتراحه الأكثر إثارة للذهول فكان أن صواعق البرق هي أيضًا شكلٌ من أشكال الكهرباء، وهي في أساسها شرارات عملاقة يسبِّبها اختلال كهربي بين السُّحب والأرض.

انطلق فرانكلين يثبت نظريتَه ذات ليلة عاصفة في أحد الحقول بفيلادلفيا في شهر يونيو لعام ١٧٥٢، حين أطلق هو وابنه طائرةً ورقية مربوطة بخيط به مفتاح، وكان الطرَف الثاني للخيط مربوطًا بأعلى قارورة لايدين. ثم سحب هو وابنه الخيطَ ليوجِّها الطائرةَ الورقية إلى سحابةٍ عاصفة آملين في جذب الكهرباء من صاعقة برق إلى داخل القارورة. وقد كانا في فشلهما في ذلك محظوظَين؛ ذلك أنهما لو نجحا لاحترقا إلى رمادٍ ولأصبح مسار تاريخ أمريكا مختلفًا كثيرًا على الأرجح. لكن وعلى الرغم من عدم قدرة فرانكلين على الإمساك بالبرق، فقد «لاحظ أن بعض الخيوط المفكوكة من الخيط المصنوع من القنب [الخاص بالطائرة الورقية] تقف منتصبة وتتفادى بعضها، كما لو كانت متدليةً من موصِّل مشترك». بدا أن الكهرباء من السَّحاب قد كهربت الطائرةَ الورقية وخيطَها بما يكفي لأن تتنافر أليافها المشحونة، تمامًا كما كان ليحدث لو أنها شُحنت بقارورة لايدين. كان فرانكلين قد برهن على أن البرق — الذي ساد اعتقادٌ عنه لفترة طويلة أنه قذيفة من عند الآلهة — كان مجرَّد شكل آخر من أشكال الكهرباء. وقد أطلق الفيلسوف الألماني إيمانويل كانط على فرانكلين لقب «بروميثيوس الجديد»، ووصف

الكيميائي الإنجليزي جوزيف بريستلي تجربةَ الطائرة الورقية بأنها «لربما أعظم التجارب التي أُجريت في مجال الفلسفة بأكمله منذ عصر السير إسحاق نيوتن»، مشدِّدًا على أن فرانكلين «هو أبو الكهرباء الحديثة».[12]

هل الحياة كهربية؟

قبل ذلك ببضع سنوات، تحديدًا في عام ١٧٤٦، كان روبرت تيرنر — وهو عالِم طبيعة إنجليزي منغمس في تقليد القوة الحيوية — قد نشر كتابًا بعنوان «علم الكهرباء: أو نقاش حول الكهرباء. بحث في طبيعتها وأسبابها وخصائصها وآثارها، اعتمادًا على مبادئ الأثير». قدَّم الكتاب سردًا غيرَ مترابط عن عدة نظريات غامضة لكنه خرج عن المألوف حين اقترح الكاتب أن صعقةَ سمكةِ الرعَّاد هي صعقة كهربائية. طبقًا لتيرنر، لم يقلِّص هذا من حجم السحر في الحياة؛ لأنه كان يعتقد أن الكهرباء شكلٌ من أشكال السحر، لكنه اقترح أيضًا أن بإمكاننا الإمساك بالسحر الحيواني في قارورة لايدين.

أجرى الكولونيل جون والش (١٧٢٦–١٧٩٥) — وهو عسكري وعالم ودبلوماسي إنجليزي مبعوث إلى الهند — دراساتٍ أكثرَ استفاضة عن «الكهرباء الحيوانية»، كما كانت تُعرف. بعد انتخابه عضوًا في الجمعية الملكية في عام ١٧٧٢، قُدِّم إلى بنجامين فرانكلين ووضع الرجلان خطةً كتبَ فرانكلين عنها أنها «محاولة لاكتشافِ ما إن كانت القوة التي تسبِّب الصعقة لدى لمس سمكة الرعَّاد ... كهربية أم غير ذلك». في وقت لاحق من ذلك العام، سافر والش إلى مدينة لا روشيل في فرنسا وجنَّد صيادِين محليِّين ليحصل على عيِّنات من سمك الرعَّاد من البحر المتوسط. في البداية أقنع الصيادِين أن يتطوَّعوا ليُصعقوا بقارورة لايدين. وقد أورد الصيادون أن «التأثير كان مماثلًا تمامًا لصعقة سمكة الرعَّاد». وفي عرضٍ عامٍّ لتجاربه — ربما مع إشارة إلى الأب نوليه — برهن والش أن صعقةَ سمكة الرعَّاد يمكن أن تنتقل عبْر سلسلة من البشر، وذلك كما هو الحال مع الكهرباء المولَّدة من قارورة لايدين. وكتب إلى فرانكلين يقول بأنه «يبدو أن تأثير سمكة الرعَّاد كهربي تمامًا»، وأنه مثال على «الكهرباء الحيوانية».

أثبتت تجاربُ والش إلى حدٍّ بعيدٍ أن صعقةَ سمكة الرعَّاد شكل من أشكال الكهرباء، لكن أيمكن أن تلعب الكهرباء دورًا محوريًّا أكثرَ كونها القوة الحيوية التي تحرِّك كلَّ الأشياء الحية، كما اقترح روبرت تيرنر؟ في تمام الساعة الثامنة والنصف مساء

يوم السادس والعشرين من شهر أبريل لعام ١٧٨٦، ذهب لويجي جلفاني (١٧٣٧–١٧٩٨) — وهو عالِم تشريح وطبيب من جامعة بولونيا — إلى حديقة قصر بلازو بوجي حاملًا معه مجموعةً من أرجل الضفادع المشرَّحة وحبالها الشوكية الموصولة إلى خطَّافات نحاسية. ثم علَّق الخطَّافات على السياج الحديدي المحيط بالحديقة وكما فعلَ بنجامين فرانكلين قبلَ أكثر من ثلاثين عامًا، انتظر جلفاني عاصفةً قادمة. حين أتت العاصفة، كان جلفاني مسرورًا أن شهد مشهدًا عجيبًا يتمثَّل في عودة أوصال الضفادع المقطوعة إلى الحياة كما يبدو؛ إذ كانت تنقبض وتنتفض على سياج حديقة شارع زامبوني.

كانت تجربة جلفاني بالطبع مصدرَ إلهام لرواية «فرانكنشتاين» القوطية الكلاسيكية للكاتبة ماري شيلي، إلا أن التجربة نفسها كانت مستلهمة من ملاحظة عارضة، قبل حوالي عَقد من الزمن عليها، حين كان جلفاني يُجري تشريحًا على أحد الضفادع، فيما كان مساعده يدوِّر إحدى الآلات بذراع يدوية؛ الأمر الذي أدَّى مصادفة إلى انبعاث شرارات كهربائية. وفيما كان المساعد يمد يدَه نحو سكين قريب من المكان الذي تشرَّح فيه الضفدعة، قفزت شرارة من النصل إلى العصب الوركي للضفدعة. ذُهِل جلفاني ومساعده لرؤية رِجل الضفدعة وهي تنتفض. فنكز جلفاني رِجل الضفدعة بمبضعه ليتحقَّق أنها كانت ميِّتة؛ لكن الضفدعة لم تتحرَّك. كان جالين قد اقترح أن الأعصاب هي القنوات التي تسير فيها الأرواح الحيوية. وكان جلفاني الآن يتساءل ما إن كانت تلك الأرواح الحيوية كهربية.

عالِم الكهرباء البروسي

وُلِد ألكسندر فون هومبولت في برلين عام ١٧٦٩ لأسرة بروسية ثرية. توفِّي والده حين كان في التاسعة من عمره، تاركًا ألكسندر وأخاه الأكبر، فيلهيلم، في كنَف أمهما الباردة والمستبدة عاطفيًّا، وكان اسمها ماريا إليزابيث.

افتُتِن ألكسندر وهو طفل بالطبيعة، فكان يجمع الحيوانات الصغيرة أو الصدف أو النباتات أو الحفريات أو الصخور ويدرُسها؛ حتى إنه أصبح معروفًا باسم «الصيدلاني الصغير». وحين تقدَّم في العمر، أصبح مهتمًّا بالسؤال العلمي المهم المتمثِّل فيما إن كانت قوة الحياة الحيوية روحانية أم ميكانيكية. كان حلمه دراسة العلوم الطبيعية، لكن طموح أمه له ولأخيه كان أكثر ابتذالًا: إذ كانت تتوقَّع منهما أن يضطلعا بمنصبَين مرموقَين في الخدمة المدنية البروسية. فأرسلت ألكسندر إلى هامبورج لدراسة التجارة التي كان

ألكسندر يبغضها. في نهاية المطاف أقنع ألكسندر والدته بأن تسمح له بأن يتبع شغفَه في الجيولوجيا وأن يدرُس في أكاديمية فرايبرج ليزاول مهنةً أخرى تكاد تكون مرموقة وهي هندسة التعدين.



شكل ١٣-٥: صورة لألكسندر فون هومبولت.

حقَّق ألكسندر تقدُّمًا سريعًا في مهنته. إذ راح يطوف على المناجم على طول نهر الراين وألَّف كتابًا عن جيولوجيا تلك المناجم وكتابًا آخرَ عن أنواع العفن الغريبة والنباتات التي تشبه الإسفنج والتي اكتشفها كامنةً في شقوقها الرطبة المظلمة. تعاطف ألكسندر مع عمال المناجم فيما يتعلَّق بظروف حياتهم وعملهم، فاخترع لهم قناعًا ومصباحًا من شأنهما أن يحسِّنا من عنصر السلامة لديهم. كما ألَّف أيضًا كتابًا جيولوجيًّا لعمال المناجم وأسَّس مدرسةً لأطفالهم.

أثناء زيارة له إلى فيينا خريف عام ١٧٩٢، عرَف هومبولت بشأن تجارب جلفاني وأضحى مفتونًا بإمكانية أن تكون القوة الحيوية للحياة هي الكهرباء. كرَّر ألكسندر عملَ جلفاني على أرجل الضفادع وحبالها الشوكية، وأجرى تجاربَ باستخدام قارورة

لايدين ليصعق الضفادع وكذا السحالي والحشرات ويشرِّحها. كما أحدث شقوقًا في ذراعه وحكَّها بالأحماض ونكزها بالأسلاك المعدنية والمكهربة. وفي أحد تجاربه الأكثر تهوُّرًا، وضع ألكسندر قطبًا كهربائيًّا من الزنك في فمه وآخر من الفضة في مستقيمه. وحين وصلهما بسلك، عانى ألمًا في أمعائه وأورد يقول: «بإدخال القطب الفضي عميقًا أكثرَ في المستقيم يظهر ضوء ساطع أمام كلا العينين».[13]

نجا هومبولت لحسن حظه من قسوة تجاربه على نفسه، وفي عام ١٧٩٤ زار أخاه فيلهيلم الذي كان يعيش مع زوجته كارولين في مدينة جينا، المدينة التي كانت حينها القلبَ الثقافي لدوقية ساكس-فايمار والقريبة من منزل عملاق الثقافة الألمانية يوهان فولفجانج فون جوته. كان فيلهيلم وكارولين من بين دائرة أصدقاء جوته، ومِن ثَمَّ قدَّما ألكسندر إلى الشاعر العظيم.

حينها لم يَعُد جوته الشابَّ الوسيم جدًّا الذي فاز بقلوب الكثيرات وحطَّمها في شبابه. كان جوته حينها سمينًا ومتجهِّم الوجه وفي منتصف العمر. لكن وصول الشاب البروسي بافتتانه المتفجِّر بكلِّ ما هو طبيعي ساعد في إعادة إحياء جذوة حماسة الشباب لدى جوته، وحماسته للعلوم الطبيعية على وجه الخصوص. كان الرجلان يمضيان ساعات طوالًا في مناقشة الأمور محل النزاع في عصرهما، بما في ذلك الصراع بين أنصار المذهبين الحيوي والميكانيكي حول طبيعة الحياة. وأجريا تجاربَ معًا، فشرَّحا الضفادع ولاحظا كيف تنتفض أرجلها حين ينكزانها بالأسلاك.[14] حتى إنهما فحصا جثتَي زوجين كانت صاعقةٌ برق قد ضربتهما. وكان لرومانسية جوته — والتي كانت في الأساس محاولةَ إحياء للمذهب الإنسانوي المسيحي، لكن بحلول حب الطبيعة محلَّ تملُّق الإنسانية — تأثيرٌ دائم على علوم هومبولت وفلسفته في الحياة.

في عام ١٧٩٠، سافر هومبولت إلى لندن والتقى هناك بجوزيف بانكس، عالِم النبات الذي خدم في رحلات الكابتن كوك الاستكشافية في جنوب المحيط الهادي. طبعت قصص بانكس الاستكشافية إضافةً إلى مجموعاته من النباتات والحيوانات في نفس هومبولت إصرارًا على أن يصبح مستكشفًا. إلا أن طموحات الأم المبتذلة بشأن ولدها ظلَّت تصدُّ طموحه الشخصي حتى عام ١٧٩٦، حين ماتت متأثرةً بإصابتها بالسرطان. لم يحضُر أيٌّ من الأخوين جنازة والدتهما. وفي غضون شهر، كان ألكسندر قد استقال من عمله مفتِّشَ تعدين وبدأ مسيرته المهنية الجديدة مستكشفًا وعالمَ طبيعة وجغرافيًّا وجيولوجيًّا.

وفي عام ١٧٩٩، حصل على إذن من التاج الإسباني ليستكشف «أمريكا الإسبانية». وفي يوم الخامس من شهر يونيو لعام ١٧٩٩، انطلق هو وعالِم النبات الفرنسي إميه بونبلان على متن السفينة «بيزارو» يقصدان أمريكا اللاتينية، فهبطا في مدينة كومانا بفنزويلا يوم السادس عشر من شهر يوليو للعام نفسه يحملان ترسانةً من الأدوات العلمية، منها عدةُ بارومترات. وأمضيا شهورًا عديدة في استكشاف المنطقة الساحلية قبل أن يتوجَّها صوبَ الداخل ليستكشفا ما إن كان نهر أورينوكو يلتحم بنهر الأمازون كما كان يُزعَم. وبعد أن أمضيا أسابيعَ مضنيةً في عبور الأراضي المسطَّحة والسهلية الحارقة الرتيبة لمنطقة اللانوس، وصلا إلى مدينة كالابوزو الصغيرة. هناك التقيا بصديقٍ لا يتوقَّعان لقاءه كان قد شيَّد «آلةً كهربية بصحون كبيرة وإلكتروفورات [وهي أجهزة تولِّد الكهرباء الساكنة] وبطاريات وإلكترومترات؛ كان هذا الجهاز يكاد يكون مكتملًا كمثل الأجهزة التي يمتلكها الروادُ من رجال العلم في أوروبا». أنشأ الجهاز السيد كارلوس ديل بوزو، وهو «رجل عبقري بارز» تمكَّن من تجميع الأدوات بعضها إلى بعض من خلال أوصافٍ قدَّم معظمها بنجامين فرانكلين في مذكِّراته. كان السيد ديل بوزو مسرورًا بشكل غير عادي للقائه بهومبولت وبونبلان، على وجه الخصوص لأنهما أحضرا معهما بعضَ أكثر الأدوات الكهربائية تعقيدًا على وجه الأرض. وبالفعل، لم يتمكَّن الرجل «من كتم سعادته لدى رؤيته للمرة الأولى أدواتٍ لم يصنعها هو بنفسه وبدا أنها نسخة من أدواته».

إلا أن غرض وصول الرجلين إلى مدينة كالابوزو لم يكن لقاءَ رجل مختص بالكهرباء — رغم ما انطوى عليه ذلك من بهجة — بل لاصطياد السمك الكهربائي. مكَّنت طريقةُ الصيد المحليَّة المعتمدة على الجياد التي ذكرناها في مطلع هذا الفصل المستكشفين الأوروبيين من اصطياد خمسة ثعابين بحر كهربائية — أو كما يُطلق عليها «جيمنوتي» — أحياء، لكن من دون اتقاء وقوع حادثة. إذ يصف هومبولت كيف أنه داس بالخطأ على ثعبان بحر حي تسبَّبت صعقته له «بألم وخدر ... عنيفين جدًّا ... حتى إن تأثير ذلك لازمني طوال اليوم في شكل ألم عنيف في ركبتيَّ وكل مفاصل جسدي تقريبًا».

أكَّد كلٌّ من هومبولت وبونبلان أن صعقة السمك الكهربي تمرُّ — كالكهرباء — عبْر المعدن، ولكن ليس عبْر شمع الأختام. ويمكن لها كذلك أن تمرَّ عبْر جسمي بونبلان وهومبولت حين يمسك أحدهما بيد بالآخر. الأمر الأكثر إثارةً للاهتمام أن هومبولت اكتشف

أن السمك كان قادرًا على التحكُّم في صعقته وتوجيهها. على سبيل المثال، حين أمسك أحدهما برأس السمكة وأمسك الآخر بذيلها، كان أحدهما فقط هو من يتلقَّى الصعقةَ في الغالب، وكان بإمكان السمكة إرسال الصعقة من رأسها وذيلها كليهما. رسَّخت هذه التجارب لدى هومبولت قناعةً بأن الكهرباء الحيوانية في أساسها مماثلة «للتيار الكهربي للموصَّل المشحون بقارورة لايدين أو عمود فولتا»، غير أن بإمكان الحيوانات التحكُّم فيها.

أمضى هومبولت أربع سنوات أخرى يسافر في أنحاء أمريكا اللاتينية، وتكلَّلت أسفاره بتسلُّقه الأسطوري لجبل تشيمبوراسو[١] المهيب في جبال الأنديز؛ حيث أجرى هو وبونبلان أول دراسة جغرافية حيوية منهجية في التاريخ، موثِّقَين فيها الحياةَ النباتية على الجبل بدءًا بغاباته الاستوائية المطيرة عند قاعدته إلى الأشنات التي تتشبَّث بقمَّته الصخرية. وكان يرسل تقاريرَ منتظمة نُشرت في المجلات الأوروبية، كما شحن بحرًا إلى برلين أو إلى جوزيف بانكس في لندن آلاف العيِّنات من النباتات والحيوانات، والتي كان كثير منها جديدًا على العلم، مما جعله أشهرَ علماء عصره بحلول وقت عودته إلى أوروبا.

ولم ينشر هومبولت ملاحظاتِه عن ثعابين البحر الكهربائية إلا عام ١٨٠٨، وحينها انتقل الجدال من السؤال عما إن كانت صعقات هذه السمكة كهربية إلى الدور العام الأكثر، إن وُجِد، الذي تلعبه الكهرباء الحيوانية. جدير بالذكر هنا أن نذكر تأسيس الجامعة المعروفة اليوم بجامعة هومبولت في برلين عام ١٨١١ على يد ألكسندر وأخيه فيلهيلم. وفي عام ١٨٣٦، عيَّنت الجامعة إيميل دو بوا-ريموند (١٨١٨–١٨٩٦) وهو طبيب وعالم فيسيولوجي شابٌّ بارع. صمَّم دو بوا-ريموند أداةً تُدعى الجلفانومتر وهي حسَّاسة بما يكفي لتكشف أضعف الإشارات الكهربائية التي تمرُّ عبْر الأعصاب. وفي عرض مسرحي عام من النوع الذي كان ليثير إعجابَ ستيفن جراي، برهن ريموند على أن بإمكانه جعْل إبرة الجلفانومتر الخاص به تقفز، وذلك بقبضه لذراعه فحسب.[15] أخيرًا ثبَت أن «الأرواح الحيوانية» كما أطلق عليها جالين — وهي القوة الحيوية التي اعتُقد أنها تسير في الأعصاب لتوفِّر للحيوانات القدرةَ على الحركة — هي القوة نفسها التي وفَّرت الصعقة الكهربية في سمك الرعَّاد، وخصائص الجذب التي يتمتع بها الكهرمان وكذلك القوة المدمِّرة لصعقات البرق. كان قد ثبَت أن الروح الحيوية هي كيانٌ آخر يفوق الضرورة، على الأقل فيما يتعلَّق بكونها العامل المسئول عن الحركة عند الحيوانات.

كهرباء الجسم

إن كان هناك شيء له الحق في أن يكون هو الروح الحيوية للحياة فهو الكهرباء؛ لأن كل وجه من أوجه حياتنا تقريبًا يعتمد عليها بشكل أو بآخر. فإضافة إلى نقْل الإشارات العصبية وتحريك العضلات، تلعب الكهرباء دورًا محوريًّا في داخل كل خلية حية. حيث تمزج القوى الكهربية الجزيئات الحيوية في أشكالٍ معيَّنة لازمة لتكوين البروتينات أو الإنزيمات أو أغشية الخلايا أو الحمض النووي أو السكريات أو الدهون، كما تحرِّك كل الآليات الجزيئية العاملة في تكاثر الخلية أو الحركة أو عمليات الإصلاح أو البناء الضوئي أو عمليات الأيض أو الرؤية أو السمع أو التذوق أو الشم. وتسير الإشارات عبْر الأعصاب في شكل موجات من الجسيمات المشحونة كهربيًّا التي تتدفَّق إلى داخل خلايا الأعصاب وخارجها. والمحرِّكات التوربينية الكهربائية النانوية الموجودة في أغشية الأعضاء الداخلية الخلوية والتي تُسمى «الميتوكوندريا» تولِّد الطاقةَ اللازمة لتشغيل كل خلايا أجسادنا. كما تتواصل البكتيريا من خلال الإشارات الكهربية التي تمرُّ عبْر الأسلاك النانوية[16] وتوجِّه الإشارات الكهروحيوية عملية نمو الأجنَّة.[17]

توفِّي هومبولت في عام ١٨٣٥، قبل عام واحد فقط من نجاح دو بوا-ريموند في قياس العلاقة بين الكهرباء والأعصاب وإثبات وجودها. وكان آخر أعمال هومبولت كتابًا ضخمًا يتكوَّن من خمسة مجلَّدات استغرقه العمل عليه سبعة وعشرين عامًا ويُسمى «الكون»، والذي يصل عدد صفحات فهرسه إلى الألف. كان الكتاب يمثِّل محاولةً شاملة مستفيضة وفي معظم الأحيان باهرة لجمع علوم الجغرافيا والأنثروبولوجيا والأحياء والجيولوجيا والفلك والكيمياء والفيزياء معًا. لم يكن أحدٌ من قبلُ قد حاول أن يقدِّم أطروحة تجميعية مشابهة عن المعرفة البشرية منذ أيام أرسطو. ويحثُّنا هومبولت في تلك الأطروحة أن «نسعى من أجل معرفة قوانين الوحدة ومبادئها التي تتخلل القوى الحيوية في الكون». لا تزال القوة الحيوية موجودة، لكن هومبولت في آخرِ أطروحاته الفكرية خلع عنها عباءةَ الصوفية التي كانت تلفُّها، وتطلَّع كتابه عوضًا عن ذلك نحو الوحدة/الانسجام الطبيعي الذي سنستكشفه فيما بعد.

وفي حين سلَّم الكثير من العلماء بأن «قوانين الوحدة ومبادئها التي تتخلَّل القوى الحيوية في الكون» قد تفسِّر بالفعل آليات الحياة، فإن أحدًا لا يملك أدنى فكرة عن كيف أن تنوُّعها وتعقيدها الكبيرين يمكن تفسيرهما من خلال تلك «القوانين والمبادئ» نفسها. فحتى أعتى المنادين بالمذهب الميكانيكي لم يكونوا قادرين على الإتيان بأي نوع من أنواع

التفسيرات الميكانيكية عن أصل ولو حتى نوع واحد من الأنواع، فضلًا عن الآلاف المؤلَّفة من الأنواع التي كانت تُكتشف كل عام على يد علماء الطبيعة أمثال هومبولت. وكما كتب لاحقًا الشاعر الأمريكي جويس كيلمر (١٨٨٦–١٩١٨) ينتحب حيث قال:

يبدع القصائدَ مثلي من الحمقى
والرب وحدَه هو الذي يمكنه خلق الشجر.

كان تقويض هذا الزعم هو التحدي الكبير التالي الذي واجه العلمَ المبني على مبدأ البساطة.

هوامش

(١) هو بركان خامد في واقع الأمر.

الفصل الرابع عشر

التوجُّه الحيوي للحياة

النظرية [نظرية الانتقاء الطبيعي] نفسها بسيطة بشكلٍ يفوق الوصف، والحقائقُ التي ترتكز عليها — رغم كونها عديدة بشكلٍ مفرِط على الصعيد الفردي، ومتوازية في النطاق مع العالم العضوي بأكمله — فإنها تندرج تحت فئاتٍ قليلة بسيطة وسهلة الفهم.

ألفريد راسل والاس (١٨٨٩)[1]

تقضي الضرورة في الطبيعة أن تكون أعضاء بعض الحيوانات معدَّة بشكلٍ ملائم لما يحقِّق عافيةَ أجسادها بالكامل. على سبيل المثال، تكون الأسنان الأمامية حادةً وملائمة لقطع الطعام وتكون الضروس مسطَّحة وملائمة لمضغه ... بالتالي، لا توجد هذه الأعضاء من أجل هذه الاستخدامات. بل بالأحرى تنجو هذه الحيوانات حين تكون هذه الأعضاء موجودة. والسبب هو ... أن هذه الأعضاء تُصبح ملائمة لبقاء الحيوان بالصدفة.

ويليام الأوكامي، حوالي عام ١٣٢٠[2]

في يوم الثامن عشر من شهر يونيو لعام ١٨٥٨، وصل خطاب إلى منزل داون الذي يقع على مسافة نصف ميل تقريبًا خارج قرية داون بمقاطعة كِنْت. كان الخطاب موجَّهًا لعالِم الطبيعة تشارلز داروين وهو ابن تسعة وأربعين عامًا. يرجع سبب شهرة داروين إلى حدٍّ كبير إلى الشعبية الهائلة لكتابه الأكثر شهرة، المعروف الآن بعنوان «رحلة البيجل»، الذي كان قد نُشر قبل تسعة عشر عامًا. يقدِّم داروين في كتابه وصفًا لا لرحلته على السفينة

الشهيرة فحسب بل كذلك للمجموعة المذهلة من النباتات والحيوانات التي صادفها أثناء رحلته الاستكشافية إلى جنوب المحيط الأطلنطي والمحيطَين الهادي والهندي، والتي دامت لخمس سنوات. وكانت الصفة التي أذهلت عالِم الطبيعة الشاب وحيَّرته أيضًا هي كيف أن كل جزيرة زارها كانت مأهولة بمجموعتها العجيبة الخاصة بها من الأنواع المميَّزة. إذ كتب يقول:

> أُثير كامل انتباهي للمرة الأولى، عند مقارنة … طيور السمنة المحاكي، حين اكتشفت، وهو ما أدهشني، أن كل جميع الطيور القادمة من جزيرة تشارلز تنتمي إلى نوع واحد (فلوريانا المحاكي)؛ وكل الطيور من جزيرة ألبيامارل تنتمي إلى نوع جالاباجوس المحاكي؛ وكل الطيور من جزيرتَي جيمس وتشاثام … تنتمي إلى نوع سان كريستوبال المحاكي.

فلماذا كانت الجُزر القريبة تملك أنواعها المميزة الخاصة بها؟

بالطبع، كانت الإجابة جاهزةً لدى أتباع نظرية الخلق: وهي أن الإله اختار خلْق العالم بهذا الشكل. لكن بحلول القرن التاسع عشر، كان عدم الرضا لدى الكثير من علماء الأحياء يزداد من التفسيرات التي تحتجُّ بالذات الإلهية. وقبل ما يقرب من قرنين من الزمان، كان نيوتن قد دفع بأن «كصانع الساعات، اضطُر الرب إلى التدخُّل في الكون والعبث بآليته من وقتٍ لآخر ليحرص على أنه يعمل على نحوٍ ملائم». مع ذلك، أليس العبث بكل طائر سمنة أو حسُّون يقطن كلَّ جزيرة صغيرة في أرخبيل هو بالتأكيد عمل ينم عن الهوس؟

كان تشارلز داروين يتأمَّل في لغز أصل الأنواع منذ عودته من رحلته على متن السفينة «بيجل». حتى إنه خطَّ مسوَّدة لنظريته قبلها بست عشرة سنة. لكن داروين لم ينشر أيًّا من أفكاره؛ حيث شعر بأنه في حاجة أولًا إلى الحصول على المزيد من الأدلة. مِن ثَمَّ، وفي العقدين التاليَين لذلك، شغَل نفسه بدراسة الدود أو مخلوقات الشاطئ كالبرنقيل، أو فحص العينات التي حصل عليها من شبكته الواسعة من علماء الطبيعة الميدانيِّين. «جامعو العينات الطبيعية» هؤلاء كما كانت تشيع تسميتُهم طافوا بالغابات والأدغال والمستنقعات والسهول العشبية والصحارى في العالم ليبحثوا عن أغرب الحيوانات والنباتات وأندرها ويحفظوها، ثم يعبِّئوها ويبيعوها إلى المتاحف وعلماء الطبيعة الأثرياء.

كان الخطاب الذي وصل إلى منزل داون في شهر يونيو من عام ١٨٥٨ مُرسلًا من أحد أولئك الجامعين، واسمه ألفريد راسل والاس. كان اسمه معروفًا لدى داروين؛ حيث كان والاس قد كتب قبل بضع سنوات إلى وكيله في لندن صامويل ستيفنز يصف له آخر شحناته، مشيرًا إلى أن «ضرب البط الداجن هو للسيد داروين».[3] عِلاوة على ذلك، في عام ١٨٥٥، وعلى غير العادة لجامع العينات الطبيعية، كان والاس قد كتب ورقةً بحثية علمية بعنوان «حول القانون الذي نظَّم نشوء أنواع جديدة».[4] حتى إن والاس كتب إلى داروين يسأله رأيه عن النظرية التي شرحها في ورقته البحثية، لكنه لم يتلقَّ ردًّا. لكن لا بد أن الورقة البحثية والخطاب الذي تلاها قد نبَّها داروين إلى حقيقة أن هذا الجامع الذي كان بالكاد معروفًا كان أيضًا يتأمَّل في أصل الأنواع.

والخطاب الذي وصل إلى عتبة منزل داروين في عام ١٨٥٨ كان مختلفًا عن سابقه في أنه كان يحتوي على مسوَّدة مخطوطة. حين شرع داروين في قراءتها كان كأنما ضربته صاعقة. بدأت المسوَّدة بذكر «مقال حول مبدأ السكان» لمالتوس، والذي ظهر في عام ١٧٩٨، وأشار إلى أن أعداد النسل تفوق بصورة نمطيَّة المواردَ المتاحة. وأكمل والاس مسوَّدته يدفع بأن «حياة الحيوانات البريَّة تمثِّل نضالًا من أجل الوجود» بحيث إن قلة قليلة فقط ممن يولدون هم مَن يتمكَّنون من النجاة للتكاثر. وأكمل يحاجج أن «مَن يموتون هم الأضعف من دون شك ... في حين أن مَن يطول بقاؤهم لا يمكن إلا أن يكونوا هم الأفضل من حيث الصحة والقوة». وتطرَّق والاس إلى كيف أن مربِّي الحيوانات الأليفة قد أنفذوا نوعًا من أنواع الانتقاء الاصطناعي للصفات المرغوب فيها كسهولة الانقياد أو كثرة اللحم، فحوَّلوا الذئاب إلى كلابٍ أليفة أو الخنازير البرية إلى خنازيرَ أليفة. في نهاية المسوَّدة، دفع والاس بأن «النضال من أجل الوجود» يعمل بالمثل في التباين الطبيعي للأنواع البريَّة بحيث «ينبغي دائمًا على الضعيف والأقل تنظيمًا أن يفنى». كما حاجج بأن حدوثَ هذه العملية على مدى وقت طويل أدَّى إلى تغيُّر تطوري ونشوء أنواع جديدة يتكيف كلٌّ منها مع بيئته المحيطة.

كان والاس قد حلَّ هكذا لغزَ أصل الأنواع. واختتم خطابه يطلب من داروين أن يمرِّر ورقته البحثية إلى أبرز الجيولوجيِّين في إنجلترا وصديقِ داروين المقرَّب تشارلز لايل، وذلك إن وجد فيها أيَّ فائدة.

من السهل أن نتخيَّل حاجبَي تشارلز داروين الكثيفين يتجعَّدان وفكَّه (الذي كان حليقًا في ذلك الوقت) يُفغَر من الدهشة بينما يتصفَّح صفحات مخطوطة والاس. وحين

أفاق من دهشته، كتب إلى صديقه لايل يمرِّر له ورقة والاس البحثية ومعها خطاب يقرُّ فيه بأن:

> لقد تحقَّقت كلماتك إلى حد كبير بأنني سوف أُسبَق ... لم أرَ من قبلُ قط مصادفة أكثر إدهاشًا. لو كان والاس قد حصل على مسوَّدة مخطوطتي التي كتبتها عام ١٨٤٢، لما أمكن له أن يخرج بملخَّصٍ أفضل من هذا! حتى مصطلحاته تُعَد الآن عناوين لفصولي ... لذا فإن أصالة عملي كلها، أيًّا كان قدره، ستتحطَّم.

وأكمل داروين يقول: «آمُل أن تستحسن ملخَّص والاس، حتى أخبره بما ستقوله». كما وعد بأن يكتب إلى والاس وأن يمرِّر ورقته البحثية إلى مجلة علمية.

الفراشات والخنافس

وُلِد ألفريد راسل والاس عام ١٨٢٣، وكان لديه تسعة إخوة. انحدرت أمه، ماري آن، من أسرةٍ ميسورة الحال في هارتفورد. لكن وطبقًا لما ورد عن راسل، فإن والده «عاش من دون عمل لفترة» قبل أن يقدِم على سلسلة من مشاريع الأعمال الوبيلة التي ضيَّعت معظمَ ثروة الأسرة. وبحلول العام ١٨١٦، كانت الأسرة منحدرةَ الحال مجبرة على الانتقال من بيتهم الكبير في لندن إلى مسكنٍ متواضع أكثرَ في مونمثشاير على الحدود الويلزية؛ حيث وُلِد ألفريد.

وحين بلغ ألفريد الخامسة، تحسَّنت ظروف العائلة بعد أن ورثوا قريبًا لهم على نحوٍ مكَّن الأسرة من أن تنتقل إلى هارتفورد وهي البلدة الأم للأم. إلا أن أحد المشاريع الوبيلة الأخرى تسبَّبت في تداعي ثروة الأسرة مرةً ثانية، فتحتَّم على أسرة والاس أن تحاول الاستفادة من موردها المتنامي الوحيد وهو أطفالها. فبمجرَّد أن بلغ كل واحد من إخوة ألفريد الكبار سنَّ الرشد، اشتغل صبيًّا لدى مسَّاح، ثم لدى نجار ثم لدى صانع حقائب كبيرة. وقد أُجبرت الأسرة على الانتقال عبْر سلسلة من المنازل الأصغر حتى انتقلوا في النهايةِ إلى منزلٍ أصغر من أن يستوعب الأطفال جميعهم. وبدافع من اليأس، أُرسِل ألفريد ليتلقى تعليمَه في مدرسة خاصة كان يعلِّم فيها التلاميذَ الأصغر ليدفع مقابل مصاريف تعليمه.

لكن حين بلغ ألفريد الرابعة عشرة، فرض تدهورُ أوضاع الأسرة المادية إيقافَ تعليمه الرسمي. فأُرسِل ليسكن رفقة أخيه الأكبر جون، الذي كان حينها يعمل مساعدًا في شركة للبناء في لندن، وقد عمِل فيها ألفريد صبيًّا يقوم بأعمالٍ صغيرة مختلفة، وكان يربح لقاء ذلك ستة بنسات في اليوم. لحسن الحظِّ قدَّمت لندن لألفريد الكثيرَ من الفرص المجانية التي مكَّنته من قطع شوط أكبرَ في تعلميه الذاتي. لقد زار المكتبةَ البريطانية، وحدائق الحيوان، بالإضافة إلى قاعة العلوم (التي هي الآن كلية بيركبيك) التي على طريق توتنهام كورت، والتي هي واحدة من بين سبعمائة معهد أُسِّست على يد محسنين أثرياء لنشر العلم بين أوساط العاملين من الناس. هناك سمِع ألفريد لأول مرة بالاشتراكي الويلزي والشريك المؤسِّس للحركة التعاونية ريتشارد أوين، ثم التقى به بعد ذلك، وقد لعِبت الاشتراكية المثالية لدى أوين وشكُّه تجاه الأديان القائمة دورًا كبيرًا في تشكيل أفكار ألفريد. إذ كتب لاحقًا يقول: «الدين النافع الوحيد هو الذي يدعو لخدمة الإنسانية، والذي عقيدته الوحيدة هي المؤاخاة بين البشر».

في العام ١٨٣٧، بدأ ألفريد تدريبًا كمسَّاحٍ، وأمضى السنوات الست التالية يسافر في أنحاء البلاد، وكان عادةً ما يتعرض للشكاوى المتعلِّقة بقانون التسييج العام. أدَّى ذلك القانون إلى إفقار الكثير من الفلاحين والمزارعين، وذلك من خلال تسييج الأراضي المشاع التي كانت فيما مضى مملوكةً لهم وتُستخدم في الرعي. واعتبر ألفريد أن في هذا «سرقة مقنَّنة للفقراء». لكن عمله كان يشتمل على التجوُّل كثيرًا في الريف؛ الأمر الذي ساعد في تأجيج اهتمام ألفريد الطويل بعلوم الحيوان والطيور وعلم النباتات وعلم الحشرات، بخاصة الخنافس.

حين توفِّي والده عام ١٨٤٣، اضطُر ألفريد ابن العشرين ربيعًا أن يتخلى عن تدريبه كمسَّاح ليضطلع بأي عمل خاص بالبناء يجده. وبعد أن أمضى شهورًا طويلة عاملًا مؤقَّتًا، وجد في نهاية المطاف وظيفةً تناسب اهتماماته أكثرَ وهي مدرِّس في مدينة ليستر. في وقت فراغه كان يزور المكتبة المحليَّة للمدينة؛ حيث قرأ كتاب «سرد شخصي» لألكسندر فون هومبولت، وكتاب تشارلز داروين «رحلة البيجل» وعمل «مقال حول مبدأ السكان» لتوماس مالتوس. كما التقى هناك بصديق حياته هنري والتر بيتس (١٨٢٥–١٨٩٢) وهو شاب علَّم نفسه بنفسه، والذي اكتسب أيضًا اهتمامًا بالخنافس. كان ألفريد وهنري يقومان برحلاتٍ قصيرة منتظمة إلى ريف ليسترشاير ثم يعودان بشِباك صيد مليئة بالخنافس والفراشات وحشرات أخرى. بعدها كان الرجلان يضعان بحرص كلَّ عيِّنة

على لوح خشبي مثبَّت إلى الحائط بداخل سقيفة حديقة بيتس. وكان التحدي التالي لهما هو تمييز كل عينة باسم نوعها. وكان الرجلان يلاحظان على وجه الدقة الصفاتِ المميزة لكل عينة كلون الأجنحة والعلامات والحجم، والأهم أنهما تعلَّما كيف يفرِّقان بين التباين الطبيعي لهذه الصفات في النوع الواحد والتباينِ الذي يفصل الأنواع بعضها عن بعض. كانت هذه الممارسةُ هي ما ألهبت حماسةَ ألفريد تجاه السؤال البارز في علم الأحياء في القرن التاسع عشر وهو: كيف تنشأ الأنواع؟



شكل ١٤-١: لوحة لعينات من الفراشات.

العصيُّ والأحجار وأصل الأنواع

كان معظم الفيكتوريين الذين فكَّروا في هذا السؤال يظنون أن كلَّ الأنواع على الأرض خُلِقت في أسبوع واحد قبل نحو ستة آلاف عام. لذا طبقًا للشخص الفيكتوري العادي، لم يكن التنوُّع في النباتات والحيوانات يمثِّل لغزًا. فكمثل حركة الأجرام السماوية في زمن

ويليام الأوكامي، كان العالَم الطبيعي يُفسَّر بوجود ربٍّ خلق الماشية والوحوش والزواحف «كلًّا حسب نوعها» من أجل أن «يتسلط» الإنسانُ عليها. فالربُّ في نهاية المطاف هو الكينونة الوحيدة القوية بما يكفي لتملأ العالَم بمثل هذا العدد والتنوُّع الهائلين من النباتات والحيوانات والزواحف.

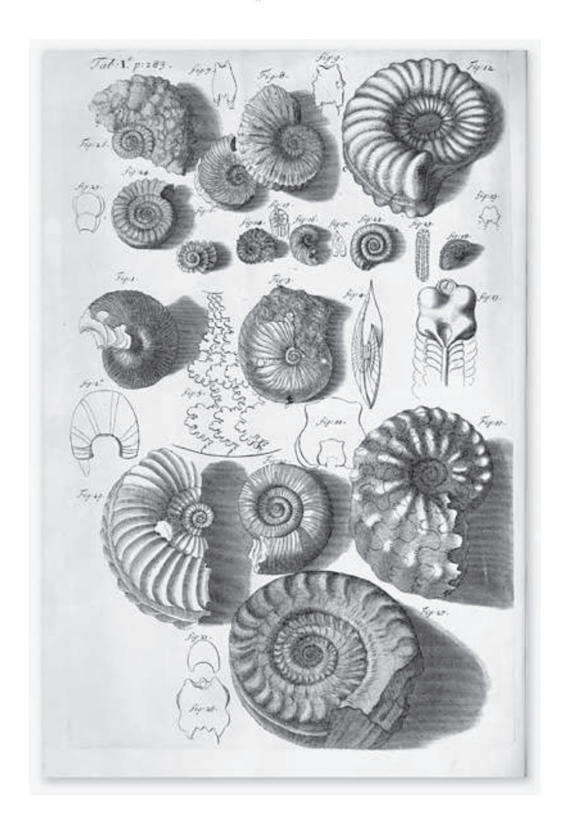
بطرقٍ كثيرة، كان السرد المسيحي عن الخلق هو آخرَ جوانبِ علم اللاهوت لدى الأكويني الذي وجَّه إليه ويليام الأوكامي شفرتَه قبل ذلك بستمائة عام. كان الأكويني قد فسَّر قصةَ الخلق المسيحية ضمن حدود فلسفة أرسطو؛ فربط العلل النهائية الأرسطية لوجود القطط والكلاب وشجر البلوط بأدوارها التي تضطلع بها في خطة الخالق. كما شدَّد الأكويني على أن الربَّ أمدَّ كل نوع بكليته المميزة لنوعه؛ بحيث تصبح الأنواع ثابتةً وغير قابلة للتغيير على نحوٍ مزدوج. وقد تسبَّب رفض الأوكامي للعلل النهائية وكذلك مبدأ الكليَّات في تقويض هذا المزعم الفلسفي الواقعي تجاه ثبات الأنواع. عِلاوة على ذلك، وكما يمكن أن نرى من خلال الاقتباس في افتتاحية هذا الفصل، فقد اعتبر الأوكامي أيضًا أن التباين الطبيعي في الصفات — كالأسنان — ربما يكون قد نشأ من قبيل الصدفة وجرى الاستبقاء عليه، بسبب «بقاء الحيوانات». كان هذا استباقًا بارزًا لنظرية الانتقاء الطبيعي لكنه كان، شأنُه شأنُ الكثير من مثله، مدفونًا وسط كره عصر التنوير لكلِّ ما هو عصرأوسطي. وهكذا بحلول القرن الثامن عشر، كانت هذه هي العقيدة السائدة حتى إن كارل لينياس (١٧٠٧–١٧٧٨) وهو الأب السويدي لعلم التصنيف الحديث، شدَّد على أنه «ليس هناك ما يُسمى بنوع جديد».[5]

الحاجة إلى أصلٍ للأنواع ينزِع نحو التفسيرات الخلقية سدَّتها بصورة شهيرة حجَّة صانع الساعات الخاصة برجل الدِّين وعالِم الطبيعة والفيلسوف الإنجليزي ويليام بيلي (١٧٤٣–١٨٠٥). دفع بيلي بأن القوانين الميكانيكية التي قدَّمها نيوتن أو جاليليو أو بويل أو فاراداي لم تكن قادرة على تفسير مستوى التعقيد المنظَّم للعين البشرية على سبيل المثال. ولكي يوضِّح وجهةَ نظره أكثر، تخيَّل بيلي أنه وبينما كان يسير على مرجٍ عثر بالمصادفة على «ساعة على الأرض، وينبغي أن نسأل كيف وصلت الساعة إلى ذلك المكان». وأكمل يشدِّد على أنه «في وقتٍ ما وفي مكانٍ ما، لا بد أن كان ثمَّة صانع أو صنَّاع هم مَن أنتجوها للغرض الذي نجد أنها تلبيه ...». استلهمت حجَّة «التصميم الرشيد» الخاصةُ ببيلي ما يُعرَّف في بعض الأحيان بـ «إله الفجوات»، وهو تفسير ديني لظاهرةٍ لا يمكن تفسيرها من خلال القوانين الطبيعية المعروفة.

لكن بحلول أوائل القرن الثامن عشر، كانت الاكتشافات الجديدة تضع إلَه الفجوات في مأزق شديد. على سبيل المثال، إلى جانب الساعة التي تخيَّلها ويليام بيلي، قد يجد بيلي صخورًا في المرج تشبه بصورةٍ بارزة بعض النباتات والحيوانات. تلك «الأحجار المصوَّرة» كما يُطلق عليها في بعض الأحيان كانت بانتظام تتقلقل تحت محاريث الفلاحين أو تُكتشف على الشواطئ. كان بعضها يشبه فروعَ الأشجار، والبعض الآخر الأوراقَ أو البذورَ أو شظايا العظام. وكان ما يُثير الحيرةَ أكثر هي تلك التي بدت كمخلوقات بحرية غير معروفة. كان مزارعو مقاطعة دورسيت كثيرًا ما يجيئون بأحجارٍ كبيرة تتخذ شكلَ قرص، كانت زخارفها الحلزونية الملتوية الجميلة تشبه الأصداف المجوَّفة للرخوِّيات البحرية، وكانت تُعرف باسم الأحجار الثعبانية (انظر الشكل ١٤-٢). وكانت تُقسَّم فئةٌ أخرى من تلك الأحجار واسمها كعك تشيدوورث بشكلٍ متماثل إلى خمسةِ قطاعات، فكانت تبدو تمامًا وكأنها قنافذ بحرية متحجِّرة.[6] فما الذي تفعله أجسادٌ متحجِّرة مدفونة لمخلوقات بحرية معروفة وغير معروفة في حقولٍ بعيدة عن البحر؟

التفسير القياسي في القرن السابع عشر كان أن الأحجار المصوَّرة هي مخلوقات مستقلَّة من صنْع الرب. وقد وضعها على الأرض لأسبابه الخاصة المجهولة، ربما كقطعةِ خلقٍ ابتدائية من نوعٍ ما قبل الانتقال إلى خلق مخلوقات من لحم ودم، أو ربما ببساطة ليذكِّر البشرَ بقدرته المطْلقة. إلا أن توزيع تلك المخلوقات ظلَّ مبهمًا. إذ لمَ تتوافر بكثرة في أكسفوردشاير أو دورسيت وتندر في دارتمور أو في التلال الويلزية؟ لمَ يقدِّم الرب درسًا مكتوبًا على الحجر لرجال ونساء دورسيت، لكنه لا يقدِّمه لرجال ونساء شمال ويلز؟[7]

تبنَّى بعضُ العلماء وجهةَ نظر جذرية أكثرَ تجاه ذلك. في كتابه المنشور عام ١٦٦٥ بعنوان «الفحص المجهري»، وصفَ روبرت هوك البنيةَ المجهرية ليس فقط للعينات الحية، بل أيضًا لبعض الأحجار المصوَّرة وذُهِل حين اكتشف أنها ليست شبيهةً فحسب بالعينات الحية وأن وجهَ الشبه هذا واضح للعين المجرَّدة، بل إنها أيضًا تشبه تلك العينات تحت عدسة مجهره. فاقترح أن تلك الأحجار كانت تماثل تمامًا ما تشبهه، وهي الآثار المتحجِّرة لحيوانات ونباتات. ورغم أن أفكاره لاقت قدرًا كبيرًا من التشكيك في بادئ الأمر، فإنها اكتسبت زخمًا بمرور الوقت، خاصة أن الكثير من العينات أظهرت علاماتٍ واضحة على كونها سُحِقت وتقطعت في حالةٍ لم يبدُ أنها متسقة مع وجودهم بفعل ربٍّ حريص على إبهار البشر بقدرته المطْلقة.



شكل ١٤-٢: رسومات روبرت هوك للأحجار المصوَّرة. كانت تلك الأحجار تُعرف بالأحجار الثعبانية، وهي ما نعرفها اليوم بأنها حفريات الأمونيت.

مشكلة أخرى من المشاكل التي واجهت مناصري نظرية الخلق كانت اكتشافَ أحجارٍ مصوَّرة لمخلوقاتٍ لا تشبه أيَّ مخلوق معروف في العلم. في عام ١٨١١، كشفت ماري آننج[8] — وهي جامعةٌ هاوية للأحجار المصوَّرة — عن هيكلٍ عظمي متحجِّر طوله سبعة عشر قدمًا لمخلوق بحري مجهول تمامًا يبرز من منحدرات دورسيت. فيمَ كان الرب يفكِّر حين خلق إكتيوصورًا متحجِّرًا؟ على الجانب الآخر من القناة الإنجليزية، كان عالِم الحيوان الفرنسي جورج كوفييه (١٧٦٩–١٨٣٢) قد كشف بالمثل عمَّا كان جليًّا أنه عِظام حفرية لحيوانات بريَّة مجهولة، كالماستودون والماموث وحيوان كسلان

الأرض العملاق والتيرداكتيلوس، مشدِّدًا على أنها بقايا حيوانات منقرضة. وبحلول بواكير القرن التاسع عشر، كان معظمُ علماء الطبيعة مقتنعين بأن روبرت هوك كان محقًّا. ففي كتابه عميق الأثر بعنوان «مبادئ الجيولوجيا» والمنشور عام ١٨٣٠، قبِل عالِم الجيولوجيا الإنجليزي الكبير وصديق داروين تشارلز لايل (١٧٩٧–١٨٧٥) بمبدأ أن المتحجِّرات هي بقايا حيوانات ونباتات منقرضة.

شكَّل الانقراض تحديًا كبيرًا لقصة الخلق المرتكزة على البشر. إذ لمَ خلقَ الربُّ حيواناتٍ يحظى الإنسان بـ «التسلُّط» عليها ثم يبيدها في وقتٍ لاحق؟ حاجج بعض أنصار نظرية الخلق بأن صورًا من لحم ودم من الحفريات الحجرية لا تزال توجد في مناطقَ نائيةٍ وغير مأهولة. ورغم أن بإمكاننا تقديمَ حجةٍ ضعيفة لنقُل لحيوان بحري كالإكتيوصور تمكَّن من تفادي اكتشاف وجوده، فقد كان من الصعب تصديق فكرة أن أحدًا لم يرَ من قبلُ حيوانًا كالتيرداكتيلوس يطير في سماء عصره. كما أبرز ألفريد والاس الشاب لدى قراءته لأطروحةٍ حول تصنيف الحيوانات والحفريات طبقًا لنظرية الخلق المسيحية: «إلى أي نظريات سخيفة سينقاد رجالُ العلم بمحاولتهم التوفيق بين العلم والنصوص المقدَّسة؟».[9]

وإلى جانب السجالات حول طبيعة الحفريات كانت هناك شكوكٌ حول تلك الركيزة الأساسية الأخرى لنظرية الخلق، وهي ثبات الأنواع. كان الأرستقراطي وعالِم التشريح الفرنسي وكونت بوفون جورج-لوي لوكلير (١٧٠٧–١٧٨٨) قد لاحظ أجزاءً أثارية في بعض الحيوانات، كعظام أصابع جانبية عديمة الفائدة في أقدام الخنزير. فسأل بوفون: لمَ وضع الربُّ في الحيوانات أعضاءً عديمةَ الفائدة؟ ظنَّ بوفون أن من المرجَّح أن الحيوانات ذوات الأطراف الأثارية انحدرت من أنواعٍ قريبة لها هي الآن منقرضة كانت الأعضاء البائدة فيها فيما سبق ذات فائدة.

كان بوفون يشغل منصبَ مدير حديقة جاردن دو روا في باريس، وهناك عيَّن هو عالِم الطبيعة الفرنسي جان-باتيست لامارك (١٧٤٤–١٨٢٩) وكان معلِّمًا له، وقد نشر لامارك في عام ١٨٠٩ — أي قبل خمسين عامًا من وصول خطاب والاس إلى منزل داون — كتابًا بعنوان «فلسفة علم الحيوان»، والذي دفع فيه بأن كل الأنواع تتطوَّر من خلال وراثتها للصفات المكتسبة. وكان مثاله الشهير على ذلك حيوان الظبي الذي كان يمدُّ عنقه ليصل إلى أعلى الأوراق على الشجر ثم مرَّر هو تلك السمةَ المكتسَبة إلى نسله، الذين مرَّروا مجهوداتهم الإضافية المبذولة لتناول تلك الأوراق الشجرية الصعبة المنال لنسلهم بدورهم، مما أدَّى إلى ظهور الزرافة في نهاية المطاف.

وقد ظلَّ معظمُ العلماء متشكِّكين، خاصة أن الصفات المكتسبة لم تبدُ أنها موروثة. كان الحدَّادون مثالًا شهيرًا مناقضًا. إذ تنزِع أذرعتهم إلى أن تكون غيرَ متماثلة كثيرًا، حيث تكون عضلات الذراع التي يمسكون بها المطرقة أقوى من تلك الموجودة في الذراع الأخرى. ومع ذلك فلا يرث أطفال هؤلاء عدمَ التماثل هذا، إلا إن أصبحوا هم أنفسهم حدَّادين. لكن وبحلول منتصف القرن التاسع عشر، لم يكن أحدٌ قد أتى بنظريةٍ أفضلَ عن أصل الأنواع. وفي عام ١٨٣٦، حين أرسل عالِم الفلك والفيلسوف الإنجليزي جون هيرشل خطابًا إلى تشارلز لايل، يطلب منه فيه رأيه حول «لغز الألغاز هذا، والمتمثل في الاستعاضة عن الأنواع المنقرضة بأنواع أخرى» أجابه لايل بأن الرب خلق كل نوع بحيث يتكيَّف بصورة مثالية مع بيئته، لكن ذلك يحدث في عملية من الخلق المستمر وعلى مدى فترات زمنية جيولوجية.[10] كان لايل يقترح نوعًا من أنواع الخلق المتدرِّج.

مِن ثَمَّ كانت مسألة أصل الأنواع هذه موضوعًا مثيرًا، حتى في المياه العلمية الراكدة نسبيًّا لدى والاس في ليسترشاير. لذا في أربعينيات القرن التاسع عشر حين كان ألفريد وهنري يأخذان قسطًا من الراحة من تثبيت عينات الخنافس على ألواح العينات، كانا غالبًا ما يناقشان نتائجَ وأفكار بوفون أو لامارك أو هومبولت، أو لايل أو داروين. ونما فيما بينهما عزمٌ وتصميم على أنهما سيبحثان معًا عن حلٍّ لمشكلة أصل الأنواع.

رحلة إلى منطقة الأمازون

في عام ١٨٤٥، تعيَّن على ألفريد أن يوقف طموحَه مؤقتًا بعد أن تلقَّى أخبارًا تقول إن أخاه الأكبر ويليام مات بالالتهاب الرئوي. والآن وبعد أن توفِّي خمسة من إخوته، كان ألفريد مضطرًّا إلى الاضطلاع بدورِ كبيرِ الأسرة ومعيلها الأول. فاستقال من عمله التدريسي ليضطلع مرةً أخرى بعمل مربح أكثرَ كمسَّاح.

وطوال العامين اللذين تليا ذلك، عمل ألفريد مع المهندسين وعمال تركيب السكة الحديد في مسح الريف لإيجاد أرض ملائمة لعمل السكك الحديدية. إلا أنه استمر في مراسلاته مع هنري، فكانا يناقشان الاكتشافات الجديدة في التاريخ الطبيعي أو يتحدَّثان بشأن طموحهما أن يصبحا من علماء الطبيعة. وبحلول العام ١٨٤٧، كان ألفريد قد جمع مدَّخرات لما عدَّها ثروةً صغيرة تقدَّر بـ ١٠٠ جنيه إسترليني. وفي العام نفسه بمحض الصدفة، ورِث تشارلز داروين مبلغ ٤٠ ألف جنيه إسترليني، هو مقدار حصَّته من أملاك الأسرة. وفي خريف العام نفسه، كتب ألفريد إلى هنري يطلعه على خطة. كان سيجوبان

معًا العالَم على خُطى هومبولت أو تشارلز داروين فيما يكسبان رزقهما بالعمل كمجمِّعي العينات الطبيعية. وكان ألفريد واضحًا بشأن طموحه والمتمثِّل في أن «يأخذ إحدى عائلات [النباتات أو الحيوانات] لأدرسها دراسةً مفصَّلة، في المقام الأول بهدف توطئة نظرية عن أصل الأنواع».[11]

وقد التقى الرجلان في لندن ليتدبَّرا أمرَ التحضيرات. لكن على عكس هومبولت، لم يتمكَّنا من تمويل بعثتهما الاستكشافية؛ ولم يكن لهما كذلك مثل داروين أو هالي معارفُ مؤثِّرون يمكنهم الحصولُ لهما على رحلة مجانية على متن سفينة من الأسطول الملكي. لذا وعوضًا عن ذلك، زارا المتحف البريطاني والتقيا بالقيِّم على الفراشات واسمه إدوارد دابلداي، الذي نصحهما بأن شمال البرازيل المستكشَف بشكلٍ ضئيل يُرجَّح أن يقدِّم عينات نادرة وقيِّمة. وذهبا إلى حدائق كيو فالتقيا هناك بمديرها السير جوزيف دالتون هوكر، والذي حصلا منه على خطاباتِ تقديم وقائمة طلبات بنخيل نادر. حتى إنهما وجدا وكيلًا وهو صامويل ستيفنز وهو رفيقهما في هواية وعشق التاريخ الطبيعي، والذي كان قد أسَّس حديثًا وكالةَ التاريخ الطبيعي. في نهاية المطاف، وحَّد الرجلان مصادرهما المالية ليشتريا مكانين في مركب الرحلات الكبير الذي يحمل اسم «ميستشيف»، ثم انطلقا إلى أمريكا الجنوبية متَّبعين خطى بطلهما ألكسندر فون هومبولت.

لم ينسَ ألفريد قط أولَ ما رأى من المناطق الاستوائية فيما كانا يبحران إلى ساليناس بالبرازيل والتي كانت محطَّة إرشاد ملاحي للسفن المتجهة نحو بارا، التي تمثِّل ميناءَ الدخول إلى حوض الأمازون. إذ وصفها فقال: «خط طويل من الغابات، يبرز على ما يبدو من الماء». نزل الرجلان عن متن المركب يوم ٢٦ مايو لعام ١٨٤٨ في مدينةٍ كان أهلها «من كل لون ... منهم الأبيض والأصفر والبني والزنجي الأسود، والهندي والبرازيلي والأوروبي ومن كل مزيج وسيط بين كل ذلك». أفطر الرجلان على لحمِ قردٍ مقليٍّ وسارا مبتعدَين عن المدينة نحو الغابة؛ حيث «تدلَّت النباتات الخشبية النحيلة المتسلِّقة في أكاليل من الفروع، أو كانت معلَّقة تتخذ شكلَ حبال وشرائط، فيما اجتاحت النباتات الزاحفة وافرة النماء فوق رءوسنا مثل الأشجار وجذوعها والأسقف والجدران، أو اعتلت السياجات وسط وفرة وغزارة من الأوراق». ثم هُرع الرجلان ليشرعا في سلسلةٍ من الرحلات الاستكشافية أعلى النهر نحو منحدرات جواريباس النهرية وإلى أبعد من ذلك في داخل الغابة، حيث لقيا تماسيح وخفافيش ماصة للدماء، ويعاسيب وطائفة من الحشرات القارصة، ما أجبرهما على تغطية رأسيهما بشباكٍ تتدلى من قبعتيهما عريضة الحواف. ولدى أولى استكشافاتهما

في الغابة، تمكَّنا من صيد وجمع ٣٦٣٥ عينة من الحشرات والطيور والنباتات، معظمها جديد على العلم، فحفظا تلك العيِّنات وغلَّفاها وأرسلاها بحرًا إلى ستيفنز في إنجلترا.

وبعد مُضي تسعة أشهر على عملهما معًا، قرَّر ألفريد وهنري أنهما سيكونان أغزرَ إنتاجًا إن هما انفصلا، بحيث يضطلع ألفريد برافد نهر الأمازون ريو نيجرو وحتى أبعد نقطة جنوبًا في رحلات هومبولت في فنزويلا، فيما يستكشف هنري نهر سوليميس. واصل ألفريد جمْعَ العينات إضافةً إلى تطبيقِ ما تلقَّاه من تدريب كمسَّاح في رسم خريطة لمنطقة حوض نهر الأمازون هذه والتي لم يُستكشف جزء كبير منها. وأثناء إبحاره إلى أعلى النهر في زورق كانو، التقى ألفريد بأبناء قبائل أمازونية قصُّوا عليه حكاياتِ الغابات عن حيوانات اليغور والبوماء والخنازير البرية الشرسة، ورجال البراري ذوي الذيول ومخلوق «الكوروبوري» المفزع الذي يُعرف عنه أنه شيطان الغابات. وقد غرس لقاؤه مع السكان المحليِّين في نفسه إعجابًا عميقًا لازمه طوال حياته واحترامًا للثقافات والتقاليد الخاصة بالسكان الأصليِّين. واكتسب أيضًا ما وصفه بأنه «سخطٌ جيَّاش تجاه الحياة المتحضِّرة».

كتب ألفريد إلى أسرته عام ١٨٤٩ يقترح أن ينضم إليه أخوه الأصغر هيربرت. وصل هيربرت مع مستكشف شاب آخر، وهو عالِم النباتات ريتشارد سبروس، فأمضى ثلاثتهم العامين التاليَين يجمعان العينات وسط تنوُّع نباتات وحيوانات منطقة الأمازون. لكن ما يبعث على الأسى أن هيربرت مات مصابًا بالحمى الصفراء في بارا عام ١٨٥١، كما عانى ألفريد سلسلةً من نوبات الحمى أو القشعريرة، على الأرجح أنها كانت الملاريا. وقد تعافى إلا أنه شعر أنه مستنزَف ومكتئب. ورغم أن هنري بيتس ظلَّ في الأمازون طيلةَ ست سنوات أخرى، فإن ألفريد قرَّر أن الوقت قد حان ليعود إلى إنجلترا.

عاد ألفريد إلى بارا في شهر يوليو لعام ١٨٥٢ وحزم آخرَ عيناتٍ جمعها في صناديقَ حُمِّلت، إلى جانب مجموعة متنوِّعة من الحيوانات الحية المتمثلة في بعض الطيور والقردة وأحد الكلاب البريَّة، على متن سفينة شراعية كبيرة تحمل اسم «هيلين» متجهًا صوب إنجلترا. وبعد مرور يومين عليهم في البحر، هُرع القبطان إلى مقصورة ألفريد وقال له: «أخشى أن السفينة تشتعل. فتعالَ وانظر ماذا ترى». ولم يتمكَّن ألفريد من إنقاذ شيء غير دفتر ملاحظاته وبضعة رسومات بالقلم الرصاص لأسماك الأمازون قبل أن يُضطر هو وبقية الطاقم إلى هجر السفينة واللجوء إلى مراكبَ صغيرة. ومن موضعه في المركب الصغير أخذ ألفريد يشاهد في ذعرٍ بينما تستسلم عيناته التي جمعها إلى النار وحيواناته



شكل ١٤-٣: الصورة المواجهة لصفحة عنوان كتاب هنري والتر بيتس «عالِم طبيعة في نهر الأمازون» (١٨٦٣)، والتي كان التعليق المكتوب تحتها هو «مغامرة مع طيور طوقان مكزبرة العرف».

المذعورة والنباتات وهي بين هالكٍ في النار أو غارق مع السفينة. ولم يتمكَّن سوى ببغاء واحد من إنقاذ نفسه، وذلك بأن قفز في البحر حيث التقطه أحدُ البحَّارة على متن أحد قوارب النجاة.

بعد أن أمضى ألفريد عشرة أيام يهيم على غير هدًى في البحر، أُصيب وجهه ويداه بالتقرُّح من الشمس، وكان الطعام والشراب في القوارب قد بدأ ينفد بصورةٍ خَطِرة (ولا نعرف ما حلَّ بالببغاء). لكن لحسن حظِّهم، رآهم طاقم سفينة شراعية بصاريين تبحر متثاقلة، كان اسمها «جوردسون»، وكانت تتقدَّم ببطء في طريقها إلى إنجلترا. لم يكن

بمقدور السفينة القديمة الإبحارُ بسرعة تتجاوز العقدتين أو الثلاث في المتوسط، لكنهم نزلوا من فوق متنها في مدينة ديل بمقاطعة كنت بعد ثمانين يومًا طويلة أخرى، حيث تناول ألفريد العشاءَ مبتهِجًا مع قبطانَي كلتا السفينتين. وكان حتى أكثر ابتهاجًا حين عرف أن ستيفنز كان قد أمَّن على شحنته بمبلغ ٢٠٠ جنيه إسترليني. كما رتَّب وكيله الجديد بالثقة لنشر عدة خطابات من التي بعثَ بها ألفريد يصف فيها ملاحظاته، كما عرض وباع الكثير من العينات التي أرسلها إلى إنجلترا في شحنات سابقة. وهكذا حين حلَّ ألفريد على لندن، وجد — لبهجته ودهشته — أنه انتقل من كونه مغمورًا إلى كونه جامعَ عينات طبيعية معروفًا إلى حدٍّ ما وعالِم طبيعة يحظى بالتقدير.

وبوجود مبلغ ٢٠٠ جنيه إسترليني في جَعبته، لم يضيِّع ألفريد وقتًا في وضع خطط لينطلق في رحلة استكشافية أخرى. وقد اختار هذه المرة أن يتَّجه شرقًا. وفي مارس لعام ١٨٥٤، انطلق ألفريد صوب أرخبيل الملايو فوصل إلى سنغافورة في شهر أبريل، قبل أربع سنوات من إرساله خطابه الشهير إلى داروين.

تحديد تاريخ الحياة: قانون ساراواك

أمضى ألفريد الأشهر الثلاثة الأولى يستكشف ويجمع عيناتٍ من نباتات وحيوانات سنغافورة، وذلك قبل أن يصل يوم الأول من شهر نوفمبر عام ١٨٥٤ إلى ميناء كوتشينج في إقليم ساراواك على جزيرة بورنيو، حيث أنشأ قاعدته. هناك عيَّن ألفريد صبيًّا من الملايو يبلغ من العمر خمسة عشر عامًا ويُدعى علي، ليساعده في أعمال الطهو وتعلُّم لغة الملايو. تبيَّن أيضًا أن عليًّا خبيرٌ في صيد الطيور وسلخِها، ومِن ثَمَّ ظلَّ مع ألفريد خلال السنوات الثماني يجوبان الأرخبيل.

انطلاقًا من قاعدته، كان الثنائي يجدِّفان بزورق كانو إلى أعلى نهرَي ساراواك وسانتوبونج. وبمجرد أن ينزلا عن الزورق، كان ألفريد وعلي يقضيان اليوم يصيدان الطيورَ ويضعان الفخاخَ للسحالي ويصيدان الحشرات بالشِّباك قبل أن ينسحبا إلى إحدى القرى القريبة التي يقطنها شعب داياك. هناك غالبًا ما كان ألفريد يبيت في بيتٍ تقليدي من بيوت سكان القرية الطويلة الضيقة المسقوفة بالقش والمصنوعة من الخشب تحت عوارضَ مزيَّنة برءوسٍ مُحنطة. ورغم شناعة تلك الزخرفة، فإن ألفريد كان يستمتع بنمطِ عيش المجتمعات المحلية الذي تقدِّمه منازلُ القرية التقليدية، والذي كان يتشاركه في غالب الأحيان مع ما يربو عن مائتين من القرويين. وأفضلُ ما في الأمر أن قرى شعب

داياك كانت محاطةً بغابة تبدو إلى حدٍّ كبير كنظيرتها الأمازونية، إلا أنها كانت تعجُّ بأنواع متنوِّعة من الطيور والحشرات المختلفة تمامًا عن الأنواع الموجودة في الأمازون. وشيئًا فشيئًا، بدأ ألفريد يميِّز نمطًا وبدأت بذرة فكرة بسيطة تنمو في عقله. وفي عام ١٨٥٥، دوَّن أفكاره في ورقة بحثية علمية بعنوان «حول القانون الذي نظَّم إدخال أنواع جديدة». وأرسل الورقةَ البحثية إلى وكيله الذي مرَّرها إلى المجلة العلمية الشهيرة «آنالز آند مجازين أوف ناتشورال هيستوري» والتي نشرتها في وقت لاحق من ذلك العام.

في ورقته البحثية التي أعتقد أن علينا أن نقدِّرها حقَّ قدْرها باعتبارها أساسيةً في تطوير نظرية الانتقاء الطبيعي، يبدأ والاس بالتشديد على أنه «أثناء فترة كبيرة من الزمن لكنها مجهولة، تعرَّض سطح الأرض لتغييرات متعاقبة». هنا كان والاس في الأساس يكرِّر استنتاجاتِ لايل في كتابه «مبادئ الجيولوجيا» من أجل أن يقدِّم الفترة الزمنية «الكبيرة» التي كان يحتاجها في بقية روايته. بعد ذلك أورد أدلةً من السجل الحفري ليقول بأن «الحالة الراهنة للعالم العضوي ترجع بصورة واضحة لعملية طبيعية من الانقراض والخلق التدريجيَّين للأنواع». لاحظ أن والاس يشير إلى عملية «الانقراض والخلق» باعتبارها «طبيعية»، وذلك رغم استخدامه لمصطلح «الخلق». من الواضح أن والاس كان يرفض الاستسلام إلى فكرة خلق ميكانيكي للأنواع. وانطلق والاس ليضع تسع «حقائق أساسية» للتاريخ الطبيعي والتي ينبغي — كما اقترح — أن تفسِّرها أيُّ نظرية عن أصل الأنواع.

أربعٌ من تلك الحقائق جغرافية. يُشير أول اثنتين منها إلى أن تلك المجموعات التصنيفية الواسعة — كالفراشات أو الثدييات — تحوي نطاقًا أوسعَ بكثير من المجموعات المحدودة أكثر، كالفصائل أو الأنواع. على سبيل المثال، نجد الفراشات في جميع أنحاء العالم، لكن فصيلة الفراشات ذوات الأجنحة الطويلة الجميلة — أو ما تُعرف بالهلكونية — موجودة فقط في أمريكا الشمالية والجنوبية، كما تنزِع أنواع بعينها من فصيلة الهلكونية إلى الاقتصار على منطقة بعينها من إحدى الغابات. أَما الحقيقة الثالثة لدى والاس فكانت أن الأنواعَ أو مجموعات الأنواع المرتبطَ بعضها ببعض ارتباطًا وثيقًا تميل إلى أن تقطن مناطقَ يجاور بعضها بعضًا. وآخر حقائقه الجغرافية تقول بأن المناخات المشابه بعضها بعضًا حين «يفصل بينها بحرٌ شاسع أو جبال شاهقة» فإن الفصائل والأجناس والأنواع التي توجد، لنقُل، على أحد جانبَي سلسلة الجبال ستتشابه بصورةٍ وثيقة مع الفصائل والأجناس والأنواع الموجودة على الجانب الآخر منها. وقد دعم والاس هذه الحقيقة

— وهي حقيقةٌ كان داروين قد أشار إليها أيضًا — بملاحظاته التي خرج بها من جزر ملقا وجافا وسومطرة وبورنيو، والتي لا يفصل بينها إلا بحر ضيق ضحل.

ثم يقدِّم والاس أربع حقائق أخرى مشابهة، لكنه يشير إلى المساحة الزمنية وليس المكانية — وقد كان هذا جديدًا كليًّا ما يجعله أمرًا بارزًا أكثر. فمن السجل الحفري، يدفع والاس بأن المجموعات التصنيفية الأصغر — كالأمونيت — تنزِع إلى أن يكون لها توزيع زمني أضيق في السجل الحفري من المجموعات الأكبر، كالرخويات. أيضًا، «أنواع أحد الأجناس أو أجناس إحدى الفصائل التي توجد في الزمن الجيولوجي نفسه تكون متشابهة فيما بينها بشكل وثيق أكثر من تلك التي يوجد بينها فاصل زمني». على سبيل المثال، أنواع الأمونيت التي يكون بعضها وثيق الصلة جدًّا ببعض تتجمَّع في طبقات متجاورة في السجل الجيولوجي، في حين أن الأنواع التي يكون بعضها بعيد الصلة عن بعض تنفصل عن بعضها على نطاق واسع. وتاسع «حقائقه» وآخرها كانت أن الأنواع أو مجموعاتها لا توجد أكثر من مرة في السجل الجيولوجي. بعبارة أخرى، «لم يأتِ نوع أو مجموعة من الأنواع إلى الوجود مرتين».

وما هو حتى ثوري أكثر بالنسبة إلى علم الأحياء أن والاس تمكَّن بعد ذلك من جمْع حقائقه التسع كلها في مقترح أو «قانون» بسيط واحد، وهو أحد أول القوانين في علم الأحياء الحديث. ففي قانون ساراواك الخاص به — كما أصبح يُعرف فيما بعد — اقترح والاس أن «كل نوع يأتي إلى الوجود متوافقًا في الزمان والمكان مع نوع وثيق الصلة به». هذا المبدأ مألوف كثيرًا لنا اليوم لدرجة أن من الصعب تقديرَ ما كان يحوي عليه من أصالة في القرن التاسع عشر. فنحن نعتبر أن من المسلَّم به — على سبيل المثال — أننا نحن البشر وحيوانات الشمبانزي من «الأنواع الوثيقة الصلة بعضها ببعض» التي أتت إلى الوجود بصورة حديثة نسبيًّا في أفريقيا؛ في حين أننا والفراشات من الأنواع الأقل ارتباطًا والتي انفصلت عن سلفٍ مشترك في زمن سحيق ومكان بعيد أكثر بكثير. لكن في عام ١٨٥٥، كان قانون ساراواك لوالاس صادمًا لمعظم علماء الطبيعة الذين اعتقدوا أن حيوانات الشمبانزي والفراشات وكل المخلوقات التي تعمِّر الأرض كانت قد خُلقت في الأسبوع نفسه والمكان نفسه قبل نحو ستة آلاف عام.

لقد ناقشنا بالفعل أهميةَ القوانين، بدءًا من قوانين بوريدان إلى تلك الخاصة بكيبلر أو بويل أو نيوتن: فهي أبسط وصف لنطاق واسع من الظواهر، كما أنها تعمل كمحركات تنبؤ. وليس قانون ساراواك لوالاس باستثناء في ذلك. ففي المقام الأول، هذا القانون بسيط

وموجز. وفي أساسه يكثِّف حقائقَ والاس التسع ومجموعة ملاحظاته في جملة واحدة. وكمثل محاولات التبسيط السابقة عليه، كمبدأ مركزية الشمس، فإن الملاحظات التي كانت فيما مضى اعتباطية أصبحت تبِعات ونتائج للقانون. يحاجج والاس فيقول:

> يفترض أيضًا [يشير هنا إلى قانون ساراواك الخاص به] رجحانه على الفرضيات السابقة، وذلك على أساس أنه لا يفسِّر ما هو موجود فحسب بل يستلزمه. وبافتراض أن القانون صحيح، فإن كثيرًا من معظم الحقائق المهمة في الطبيعة ستصبح استنتاجات ضرورية منه، كما هي الحال مع تلك المدارات البيضاوية للكواكب وقانون الجاذبية.

وجدَت شفرة أوكام من خلال قانون ساراواك لوالاس مكانًا لها في علم الأحياء، وأصبح العالَم الطبيعي أبسط بعدة درجات.

إلا أن أحدًا بالكاد لاحظ ذلك.

مسألةٌ تافهة

بعد أن أرسل ورقته البحثية العلمية التي تحوي قانون ساراواك إلى وكيله، خطَّط والاس لأن يستتبع ذلك بمشروع أكبر. إذ كشف في خطابٍ له أرسله إلى هنري بيتس أن «تلك الورقة بالطبع مجرَّد إعلان عن النظرية، وليس ما وصلت إليه من تطوُّر. وقد أعددت الخطةَ وكتبت أجزاءً من عملٍ شامل يغطي الموضوع من جميع جوانبه، كما يسعى لإثبات ما لم أفعل سوى أنني أشرت إليه فحسب في الورقة».[12]

لأسبابٍ ستتضح فيما بعد، لم ينتهِ والاس من «عمله الشامل» أبدًا؛ وعلى وجه العموم، لقيت ورقته تجاهلًا كبيرًا. بل إن وكيله ستيفنز أخبره حتى بأن عددًا كبيرًا من عملائه يرون أن عليه أن يلتزم بكونه جامعًا للعينات الطبيعية ويترك أمرَ التنظير إلى المتخصصين. إلا أن تشارلز لايل — وهو أشهر الجيولوجيِّين في إنجلترا — قرأ ورقة والاس ورأى أنها تقوِّض نظريته الخاصة به والمفضَّلة لديه عن الخلق المستمر. وكان ردُّه أنه حاجج والاس بأن «هناك أسبابًا لا تُحصى ترتبط بالماضي والمستقبل وكذا الحاضر، والتي سينتج عنها أن تشبه الأنواعُ الجديدة تلك الأنواع التي توجد الآن أو التي كانت موجودة في وقت لاحق».[13] وكانت «الأسباب التي لا تُحصى» لدى لايل أوجهَ تعقيدٍ مضافة. إذ اقترح

أن الرب حين خلق نوعًا جديدًا خطَّط لمستقبله وقد تشتمل تلك الخطط، على سبيل المثال، على أن تنقسم جزيرةٌ ما في وقت لاحق إلى جزيرتين.

لكن وبغض النظر عما إن كان لايل يتَّفق أو يختلف مع استنتاجات ورقة والاس، فمن الواضح أنه كان مبهورًا بتلك الورقة وأوصى بها لصديقه. ويبدو أن داروين كان أقل اهتمامًا بها؛ حيث كتب تعليقًا في هوامش نسخته منها يقول: «الأمر كلُّه عنده عن الخلق»، غافلًا تمامًا عن تشديد والاس على أنه يستهدف «عمليةً طبيعية من الانقراض والخلق التدريجيَّين للأنواع». وخلَص داروين إلى أن العمل «لم يحوِ شيئًا جديدًا بالكلية»؛ إلا أن تقييمه الذي ينم عن الرفض تعارض مع ملحوظةٍ أخرى كُتِبت إلى جوار زعم والاس بأن الأنواع الحفرية التي توجد في الزمن الجيولوجي نفسه أكثر شبهًا فيما بينها من تلك التي فصلتها فترات زمنية، حيث كتب يقول: «أيمكن أن يكون هذا صحيحًا؟».[14]

بعد ذلك بعام، أي في أبريل من عام ١٨٥٦، زار تشارلز لايل وزوجته أسرة داروين في منزل داون. وناقشا ورقة ساراواك العلمية الخاصة بوالاس، ما حثَّ داروين إلى أن يُفضي إلى لايل بأن والاس راسله مباشرةً في وقتٍ سابق (وهو الخطاب الذي ظلَّ مفقودًا بعدها) يطلب منه رأيه في ورقة ساراواك ويتذمَّر من أنه محبَط من الصمت الذي صاحبَ استقبالها. ولخشية لايل من أن أحدًا قد يسبق صديقه، حثَّ داروين على نشر نظريته بسرعة. ولاحقًا أشار إلى أنه ناقش مع داروين «[نظرية] السيد والاس عن إدخال أنواع [جديدة]، [والتي زعم والاس أنها] مرتبطة بشدة بما يسبقها مباشرة في الوجود زمنيًّا، أو أن [أي] نوع جديد كان في معظم الحِقَب [أو الطبقات] الجيولوجية أشبه بتلك [الطبقات] التي تسبقه مباشرة في الوجود زمنيًّا، [الأمر الذي لو كان حقيقيًّا] فإنه يبدو مفسَّرًا من خلال نظرية الانتقاء الطبيعي».[15]

اهتمامُ لايل حثَّ داروين على أن يكتب ردًّا على خطاب والاس بشأن قانون ساراواك، مؤكِّدًا له أن ورقته قُرئت ونالت الإعجاب بالفعل ممن يعنيهم الأمر، ومنهم لايل. أما عن رأيه الشخصي، فقد كتب داروين يقول: «أتفق مع كل كلمة ذكرتها في ورقتك تقريبًا»، وأكمل حديثه قائلًا:

> سيكون هذا الصيف هو العامَ العشرين (!) منذ أن فتحت أول دفاتر ملاحظاتي للإجابة عن السؤال الذي مفادُه كيف وبأي طريقة تختلف الأنواع والأصناف بعضها عن بعض. — أنا الآن أُعِدُّ عملي للنشر، لكنني أجد الموضوع كبيرًا

> للغاية، لدرجة أنني لا أعتقد أنني سأنشره قبل عامين رغم أنني كتبت منه فصولًا كثيرة.

فهل كان داروين يقدِّم إنذارًا مهذَّبًا مفادُه «ابقَ بعيدًا عن ساحتي»؟ لو كان هذا صحيحًا، فإن والاس تجاهله أو على الأرجح أكثر أنه لم يفهمه. وقد اختتم داروين رسالتَه بأن طلب من والاس أن يجمع له عيناتٍ من أي دواجن مستأنَسة قد «يصادفها».

في تلك الأثناء، وبالعودة إلى أرخبيل الملايو، أبحر ألفريد جنوبًا من بورنيو إلى جزيرة بالي، ومن هناك واصل الإبحار شرقًا حتى جزيرة لومبوك، عابرًا مضايقَ لومبوك المحفوفة بالخطر، والتي تشتهر بتياراتها القوية ودواماتها المفاجئة. وقد عبَر ألفريد المضايقَ على متن مركب شراعي بصاريَين يقوده طاقمٌ من الجاويين الذين زعموا أن «بحرهم نَهِم دائمًا ويلتهم أيَّ شيء يمكنه أن يصيده». لحسن الحظ، لم يكن البحر جائعًا جدًّا ذلك اليوم، وبعد رحلة مثيرة نزل ألفريد من فوق متن المركب إلى شاطئ جزيرة لومبوك وشرع في الاستكشاف. وقد ذُهِل حين اكتشف أن الجزيرة تضم نظامًا حيويًّا مختلفًا تمامًا — رغم أنها لا تبعُد عن جزيرة بالي إلا عشرين ميلًا فقط باتجاه الشرق وكانت تبدو للعِيان من فوق شواطئها — فكان بها طيورٌ آكلة للعسل، وببغاوات بيضاء تصيح باستمرار، وطيور آكلة للنحل وطيور الكوكوبارا، وهي طيور كان يعلم أنها شائعة في أستراليا لكنها غير معروفة في الجهة الغربية من الأرخبيل. وأينما نظر ألفريد وجد أنواعًا مماثلة لتلك التي كان يعرف أنها مقصورةٌ على أستراليا والجزر المجاورة لها أو ذات صلة بها. كان والاس قد اكتشف مصادفةً ما يُعرف اليوم بخط والاس، وهو الخط الفاصل الذي يمرُّ مباشرة عبَر الأرخبيل الماليزي والخاص بالحياة النباتية والحياة الحيوانية (بصفة خاصة)، بحيث تكون الأنواع الآسيوية إلى جهتَي الشمال والغرب، والأنواع الأسترالية إلى جهتَي الشرق والجنوب. كان هذا ولا شك أكثرَ الأدلة إدهاشًا على الحقيقة الرابعة عنده من حقائق التاريخ الطبيعي: أن المناطق التي «يفصل بينها بحرٌ شاسع أو جبال شاهقة» تُطوِّر أنواعها الخاصة المميَّزة لها من الحياة النباتية والحيوانية.

ومن لومبوك، انطلق ألفريد في أروعِ مغامراته البحرية حتى ذلك التاريخ؛ إذ ذهب في رحلة بحرية يقارب طولها ١٥٠٠ ميل صوب جزر آرو المتاخمة لبابوا غينيا الجديدة، على متن قارب برو محلي، وهو قارب شراعي قريب الشبه قليلًا بقارب الجنك الصيني — يصحبه أسماكٌ طائرة ودلافين قافزة. ولدى وصوله، دهش كثيرًا لرؤيته البولونيزيِّين الأصليِّين بزوارق الكانو الخاصة بهم المنحوتة بإتقان، وبأغطية رءوسهم المزيَّنة بريش

طائر الشبنم. ثم سرعان ما انطلق متسلِّحًا ببندقية وشبكة، وتمكَّن من صيد أفضلِ غنائمه حتى تلك اللحظة، وهي عيِّنة من طائر الجنَّة الملك الرائع. وقد لاحظ أن ذلك الطائر النادر والملوَّن بألوان مبهرجة يوجد فقط في أعماق الغابة بعيدًا عن عين البشر — وهو دليلٌ كما زعم «يخبرنا بكل تأكيد أن كل الكائنات الحية لم تكن مخلوقة من أجل الإنسان».

وقبل أن يبارح جزر آرو، أرسل ألفريد أولَ ورقة علمية من بين عدة أوراق علمية عن التاريخ الطبيعي لتلك الجزر، ثم أبحر بعد ذلك إلى مدينة مكاسار بجزيرة سولاوسي، ثم شمالًا صوبَ مجموعة جزر الملوك أو جزر التوابل الأسطورية. وفي شهر يناير من عام ١٨٥٨، نزل في جزيرة ترناتي؛ حيث استأجر منزلًا قريبًا من الشاطئ يظلُّه بركانٌ يبعث بالدخان. سيكون هذا المنزل هو موطنه وقاعدته طوال الأعوام الثلاثة التالية.

وفي الحال انطلق والاس لاستكشاف الجوار، فاستأجر قاربًا صغيرًا وطاقمَ إبحار، وحطَّ عند خليج دودينجا الفاصل بين النصفَين الشمالي والجنوبي لجزيرة الملوك المجاورة. هناك استأجر كوخًا صغيرًا، وبعد مسيرة قصيرة إلا أنها كانت مثمرة، تمكَّن من صيد عدة حشرات مجهولة بالشِّباك. لكنه سرعان ما أُصيب بالحمى، على الأرجح أنها كانت الملاريا، فاضطُر إلى أن يعود إلى كوخه؛ حيث قضى عدة أسابيع تالية. وحيث كان حبيس كوخه، عاود والاس البحثَ في مسألة الأنواع التي ظلَّت تطارده منذ أيام جمْعه للخنافس رفقةَ بيتس: كيف نشأ التنوُّع الرائع للأنواع؟ كان قانون ساراواك الخاص به يقدِّم فكرةً لحل اللغز، وهي أن الأنواع ذات الصلة بعضها ببعض ينشأ بعضها قرب بعض من حيث الزمان والمكان، إلا أنه لم يكن يقدِّم آليةً لذلك. وفي هذا الإطار، كان قانونه أقربَ إلى قوانين كيبلر عن الحركة منه إلى قوانين نيوتن السببية. كانت القطعة المفقودة من اللغز هي كيف ولماذا تنشأ الأنواع القريب بعضها من بعض في الزمان والمكان نفسيهما.

تحوَّلت أفكاره — ربما بسبب تفكيره في وفاته؛ إذ لم يكن قد مرَّ على وفاة أخيه إلا سبع سنواتٍ جرَّاء حمَّى استوائية مشابهة للحمى المصاب بها الآن — إلى عمل توماس مالتوس بعنوان «مقال حول مبدأ السكان» وملاحظته المكفهرة عن أن معدَّل التناسل يفوق دائمًا المواردَ المتاحة، ما يؤدي إلى اصطفاء طبيعي حتمي فيما يتعلَّق بالنمو السكاني. وقد جمع ألفريد هذا المفهوم مع التباين الواسع النطاق الذي اكتشفه هو وآخرون في الأنواع. إلا أنه كان يعرف على نحوٍ حاسم — من التجارب الفريدة التي أجراها بالفعل في الغابات — أن التباين الطبيعي داخل النوع الواحد يكون موروثًا. والآن، وبينما هو مصاب بالحمى، انحل اللغز أمامه. تنشأ الأنواع القريب بعضها من بعض

في المكان نفسه وفي الزمان نفسه؛ لأنها تنحدر من السلف نفسه، وذلك من خلال عمليةٍ نعرفها اليوم باسم الانتقاء الطبيعي، ومِن ثَمَّ يبرهن هذا على قانون ساراواك الخاص به. هذه المرة، كان والاس قد اكتشف حقًّا المكافئَ الحيوي لقوانين نيوتن السببية عن الحركة.

انتظر ألفريد حتى تنكسِر شوكة الحمَّى قبل أن يعود إلى منزله في جزيرة تيرناتي. وفي غضون ثلاثة أيام كان قد دوَّن أفكارَه في شكل ورقة علمية عنوانها «حول ميل الأنواع لتكوين الضروب، وحول ديمومة نشوء الضروب والأنواع عن طريق الانتقاء الطبيعي». لكن لَمَن يرسلها؟ كانت أولى أفكاره على الأرجح أن يرسلها إلى وكيله، ستيفنز، الذي كان سيرسلها من دون شكٍّ إلى مجلة علمية ملائمة. لكن كان داروين قد أخبره بأن تشارلز لايل وجد ورقته عن قانون ساراواك مثيرةً للاهتمام. كان هذا كافيًا لإقناع والاس بأن يرفع سقف آماله وأن يرسل ورقته العلمية التي ألَّفها في جزيرة تيرناتي إلى داروين، ويطلب منه أن يمرِّرها إلى العالِم الإنجليزي البارز. فأرسل خطابَه الذي وصل إلى منزل داون يوم الثامن عشر من شهر يونيو لعام ١٨٥٨، وانطلق نحو بابوا غينيا الجديدة ليجمع مزيدًا من العيِّنات.

بحلول الوقت الذي حلَّ فيه والاس على غينيا الجديدة، كان داروين يترنَّح من صدمةِ معرفة أن جامع العينات الطبيعية المغمور هذا الذي يتخذ من الملايو قاعدةً له قد توصَّل وحدَه إلى الفكرة نفسها التي كان يطوِّرها لمدة عَقد من الزمن على الأقل. أيضًا في يونيو من العام نفسه، حين أرسل داروين إلى لايل يمرِّر له مخطوطة ورقة والاس التي ألَّفها في تيرناتي، كان قد قطع وعدًا بأن يخاطب والاس ليعرض عليه أن يمرِّر ورقته إلى إحدى المجلات العلمية. على أية حال، لم يخاطب داروين والاس، بل أرسل عوضًا عن ذلك إلى لايل بخطابٍ آخرَ في ذلك الأسبوع مشدِّدًا على حقِّه في الأسبقية لنظرية الانتقاء الطبيعي والذي قال فيه:

> سيسرُّني كثيرًا الآن أن أنشر ملخصًا بآرائي العامة في اثنتي عشرة صفحة أو نحو ذلك. لكن لا يمكنني إقناعُ نفسي أن فِعلي هذا يُعَد فِعلًا شريفًا ... هذه مسألة تافهة على أن أزعجك بها، لكنك لا تدري كم سأكون ممتنًّا لنصيحتك.

أما ما تبقَّى من هذه القصة فقد روي كثيرًا؛[16] لذا لستُ بحاجة لأن أعيدها في هذا المقام. وقد رتَّب لايل مع كلٍّ من هوكر وعالِم الأحياء والتشريح البارز توماس هكسلي أن تُقرأ ورقة والاس التي كتبها في تيرناتي حول الانتقاء الطبيعي في اجتماعٍ للجمعية

اللينية يوم الأول من شهر يوليو لعام ١٨٥٨، على أن يكون ذلك بعد قراءة «برهانين» من براهين أسبقية داروين في التوصُّل إلى نظرية الانتقاء الطبيعي. وكان «البرهان» الأول هو «ملخَّص» داروين غير المنشور عن نظريته الذي كتبه قبل عَقد من الزمن تقريبًا. أما البرهان الثاني فكان نسخةً من خطابٍ كان داروين قد كتبه إلى عالِم النباتات الأمريكي آسا جراي عام ١٨٥٧، والذي أبرز فيه بعضَ أفكاره.

وقد نُشرت الورقات الثلاث، بالترتيب الذي قُرئت به، في وقائع اجتماعات الجمعية اللينية في شهر سبتمبر من ذلك العام. في تلك الأثناء، استمر والاس في عمله جامعَ عيِّنات طبيعية، غيرَ مدرك تمامًا للعاصفة الفكرية التي تسبب بها خطابه. وقد هجر داروين فكرةَ «كتابه الكبير» ليكتب «ملخَّصًا» لنظريته الذي أصبح تحفته الرائعة «عن أصل الأنواع»، المنشور في شهر نوفمبر من العام التالي لذلك. حين علِم والاس في نهاية المطاف بـ «التدبير الدقيق» بعد نشر كتاب داروين «عن أصل الأنواع»، تخلَّى عن فكرته عن تأليف «عمله الشامل» حول أصل الأنواع.

وقد أمضى ألفريد أربع سنوات إضافية أخرى يجمع العينات في الأرخبيل، بما في ذلك أكبرُ ما حاز عليه من غنيمة أثناء جميع رحلاته، وهي نوع غير معروف من قبلُ لأحد طيور الجنة، الذي يُعرف اليوم باسم والاس ستاندردوينج. في واقع الأمر، كان مساعده عليٌّ هو أول مَن رأى الطائر، فصاح: «انظر ها هنا سيدي، يا له من طائر مثير للفضول». عاد والاس إلى إنجلترا في أبريل من عام ١٨٦٢، ومعه زوجٌ حي من طيور الجنة بين أمتعته. وقد ذُكِر خبر عودته في مجلة «إلستريتد لندن نيوز». وانتُخب من فوره زميلًا لجمعية علم الحيوان وتلقَّى دعوات من تشارلز داروين وتوماس هكسلي وتشارلز لايل. كما جدَّد والاس أيضًا أواصر صداقته مع شريكه في جمع العيِّنات هنري بيتس. وفي صيف عام ١٨٦٢، زار والاس منزل داون لآل داروين بمقاطعة كِنت. واستمر عالِما الطبيعة في تبادل الرسائل وكانت علاقتهما ممتازةً لما بقي من حياتهما.

وقد نشر والاس تحفتَه الخالدة «أرخبيل الملايو» عام ١٨٦٩. وإضافة إلى وصفه فيه للتاريخ الطبيعي لتلك المنطقة، أشاد والاس بمناقب الثقافات التقليدية فيها، مقارِنًا إياها بالحضارة الغربية التي جادل بشأنها أن «ثراء قلة من الناس ومعرفتهم وثقافتهم لا يقيم حضارة ... [الذين] يظل تنظيمهم الأخلاقي في حالة من البربرية». وظلَّ اشتراكيًّا طوال حياته، وكان من أشد المناصرين لكلٍّ من تأميم الأراضي وحقوق المرأة. وعلى عكس كثيرين من زملائه علماء الطبيعة، كان والاس شديدَ المعارضة لتحسين النسل.

تُوفي داروين عام ١٨٨٢ ودُفِن في كنيسة ويستمنستر آبي. وكان والاس أحدَ حَمَلة التابوت الموضوع فيه جثمانه. وفي عمر السبعين، انتُخِب والاس أخيرًا زميلًا للجمعية الملكية، وكان في ذلك أكبرَ من داروين بأربعين سنة حين نال الشرفَ نفسه. وقد أشار والاس إلى أنه كان سيستمتع بعضوية الجمعية أكثرَ لو تلقَّاها بينما كان لا يزال يتمتع بالقدرة على حضور اجتماعاتها. وفي عام ١٩٠٨، أي، في الاحتفال بالذكرى الخمسين لقراءة أوراق والاس وداروين الذي أقامته الجمعية اللينية، ذكر والاس كيف واتته فكرةُ الانتقاء الطبيعي في «لمحة عابرة من الإلهام». وقد تبِع هوكر والاس وأمدَّ النظريةَ بلغز آخر، مشيرًا إلى أنه لم يَعُد ثمَّة «دليل وثائقي» على أيٍّ من الخطابات التي تلقَّاها داروين أثناء مراسلاته بخصوص الورقة التي كُتبت في تيرناتي. ورغم ما اعتاد عليه داروين من الاحتفاظ بكل خطاباته تقريبًا، فقد فُقِدت كل تلك الخطابات التي كُتبت إلى داروين على يد والاس أو هوكر أو هكسلي أو لايل أثناء عام ١٨٥٨ الحاسم هذا، بما في ذلك مخطوطةُ ورقة والاس الأصلية التي كُتبت في تيرناتي.

استمرَّ ألفريد راسل والاس في كتابة الأوراق البحثية العلمية حول مجموعةٍ متنوِّعة من المواضيع العلمية والاجتماعية. وفي كتابه المنشور عام ١٩٠٣ بعنوان «منزلة الإنسان في الكون»، قدَّم مفهومَ علم الأحياء الفلكي عن طريق مراجعة الظروف الفيزيائية اللازمة لقيام حياة عضوية في النُّظم البيئية الأرضية، مستنتِجًا أن الأرض هي الكوكب الوحيد الصالح للحياة في نظامنا الشمسي. وفي عام ١٩٠٦، نشر ورقةً بعنوان «هل المريخ صالح للحياة؟» والتي دحض فيها على أسسٍ سليمة مزاعمَ عالِم الفلك بيرسيفال لويل بأن المريخ «يسكنه جنس من الكائنات الرفيعة الذكاء».[17]

مات والاس في سلام يوم السابع من شهر نوفمبر لعام ١٩١٣. ودُفِن في جبانة برودستون بدورسيت؛ حيث أمضى آخرَ سنوات حياته. وفي وقت لاحق، وُضِع على قبره كإشارة بارزة جذعُ شجرةٍ متحجِّرٌ وُجد على أحد شواطئ دورسيت. لكن، ربما كان أحدُ أحبِّ أوجه التقدير لذكرى أحدِ أعظم علماء الطبيعة والمكتشف المشارك للنظرية التي قال عنها الفيلسوف دانيل دينيت إنها «أفضل فكرة راودت أحدًا من قبل»،[18] هو لقاء عابرٌ حظي به عالِم الأحياء الأمريكي توماس بربور حين كان يجمع العينات في تيرناتي في عام ١٩٠٧. هناك صادف توماس «رجلًا ملاويًّا عجوزًا هرِمًا ... يرتدي طربوشًا باهتًا ذا لون أزرق على رأسه». وبإنجليزية متقنة، أخبر العجوزُ بربورَ: «أنا علي والاس».[19]

على الأرجح أن نظرية الانتقاء الطبيعي — أيًّا كان منشؤها — هي النموذج الأوكامي الأمثل على اختزال أعداد كبيرة من الحقائق الاعتباطية في قانون بسيط واحد. فهي



شكل ١٤-٤: شاهد قبر ألفريد راسل والاس في برودستون، دورسيت.

تعتمد على أبسط الآليات الممكنة: مصدر غير محدود من التباين الموروث إلى جانب بقاء وتكرار تفاضليَّين. كان لدى كلٍّ من والاس وداروين وفرةٌ من الأدلة على البقاء والتكرار التفاضليَّين، لكن وقبل مرور عَقد من الزمن على نشر كتاب «عن أصل الأنواع»، كشف رجل السياسة والعالِم والكاتب جورج جون دوجلاس كامبل (١٨٢٣–١٩٠٠) — دوق أرجيل الثامن — عن مشكلة في ذلك العنصر الآخر من النظرية: وهو المصدر غير المحدود للتباين الموروث. ففي كتابه «سيطرة القانون» المنشور عام ١٨٦٧، أوضح كامبل أنه ورغم العنوان الرفيع للكتاب، فإن «نظرية السيد داروين ليست أبدًا نظريةً عن أصل الأنواع، إنما هي نظرية عن الأسباب التي تؤدي إلى النجاح والفشل النسبيَّين لتلك الأشكال

الجديدة التي قد تُولد في هذا الكون». لقد أشار كامبل بشكل صحيح إلى أن رائعة داروين وصفت الانتقاء الطبيعي الذي يؤثِّر على تباين موجود مسبقًا، كالاختلافات الموجودة في شكل منقار طائر الحسُّون أو الألوان على جناح إحدى الفراشات. إلا أن هذه العملية ليست بعملية خلَّاقة؛ إذ لا يمكنها إلا أن تختار بين ضروب موجودة بالفعل ضمن مجموعة سكانيةٍ ما. أما بنفسها، فلا يمكنها أن تقدِّم متغيِّرات جديدة، ولا أن تُوجِد أنواعًا جديدة.

كانت الخطوة التالية في كشف أكبر أسرار علم الأحياء هي اكتشاف مصدر بسيط للتباين الجديد.

الفصل الخامس عشر

حول البازلاء وزهور الربيع والذباب والقوارض العمياء

ليس هناك من برهانٍ على نظريةٍ أكثرَ إقناعًا من قدرتها على استيعاب حقائق جديدة وإفساح مجالٍ لها.

ألفريد راسل والاس، ١٨٦٧[1]

بحلول الوقت نفسه تقريبًا الذي سلَّط فيه جورج كامبل الضوءَ على غياب طريقةٍ لإنتاج التباين في نظرية الانتقاء الطبيعي، كشف أستاذ الكرسي الملكي للهندسة بجامعة إدنبرة ومخترع التلفريك فليمينج جينكين عن مشكلةٍ أخرى قد تكون أكثرَ خطورة حتى. ففي استعراضه لكتاب داروين «عن أصل الأنواع»، أشار جينكين إلى أن الوراثةَ تنزِع لأن تخلِط بين الصفات. فالأمهات الطوال والآباء القصار ينجبون في الغالب أطفالًا ذوي أطوال متوسطة. شدَّد جينكين على أن هذا الانحراف نحو التوسط من شأنه أن يستبعِد التباين الذي تتركَّز عليه عملية الانتقاء الطبيعي. ليس هذا فحسب، بل دفع بأن «ميزة» أي تباين [جديد] ونادر «ستتفوق عليها تمامًا الدونية العددية الخاصة به». ولكي يبرِز وجهةَ نظره، وبالعنصرية العفوية المعهودة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، ذكر جينكين مثال «الرجل الأبيض الأثير [الذي] لا يمكنه تبييض عشيرة من الزنوج».[2]

كان أساس المشكلتين اللتين سلَّط كلٌّ من كامبل وجينكين الضوءَ عليهما أن أحدًا لم يكن بمقدوره الإجابة عن سؤال يشيع طرْحُه على لسان الأطفال في القرن التاسع عشر.

لماذا أُشبِه أبي؟

كان لتشارلز داروين وألفريد راسل والاس العديدُ من الأطفال. لم أستطِع إيجادَ أيِّ صورٍ لأطفال أسرة والاس، لكنَّ ثمَّة كثيرًا من الصور لأطفال أسرة داروين الذين بقُوا على قيد الحياة، ومن السهل ملاحظة وجود تشابه عائلي بين كلٍّ من تشارلز وزوجته إيما.

من بين التحديات الكثيرة التي واجهت فهْمَنا للعالَم، نجد أن مسألة الوراثة هي أكبرها. الشبيه يُحدِث الشبيه؛ فجوزة البلوط تُنبِت شجرةَ بلوط، والبَيض يُخرِج دجاجًا. وجوزة البلوط لا تشبه شجرة البلوط بأي شكل، وكذا البيضة لا تشبه الدجاجة من قريب أو بعيد، لكنَّ سرَّ وجودهما كليهما متأصِّل بطريقةٍ ما في هذه وتلك. كيف أصبح هذا السرُّ مشفَّرًا في البيضة أو البذرة؟ وكيف تُفك شفرةُ هذا السر لخلق شجرة بلوط أو دجاجة؟ وقع معظمُ العلماء في القرن التاسع عشر في مأزق التدخُّل الإلهي المعتاد، ما سمح للوراثة أن تُصبح الملاذ الأخير للمذهب الحيوي. وفي حركةٍ تنم عن اليأس، لجأ داروين إلى النظرية السيئة السمعة عن الوراثة المكتسبة (اللاماركية)، والتي أطلق هو عليها شمولية التكوين. في كتابه الصادر عام ١٨٦٨ بعنوان «تباين الحيوانات والنباتات تحت تأثير التدجين»، اقترح داروين أن الصفات المكتسبة أثناء حياة الحيوان تنتقل من الجسد إلى الأمشاج (البويضات والخلايا المنوية) عبْر جسيمات أطلق عليها «البُريعمات». خضعت النظريةُ للنقد نفسه الذي خضعت له نظرية لامارك (تذكَّر ذراع الحدَّاد التي يضرب بها بالمطرقة) ولم تنجح في إقناع ناقديه. حتى والاس أعلن في نهاية المطاف معارضته لها. وفي العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر، كادت نظرية الانتقاء الطبيعي تعاني مصيرَ كثيرٍ من الكائنات التي تصِفها وتصبح بائدة.

لكن قبل عامين من نشر جينكين لاعتراضه على نظرية الانتقاء الطبيعي، كان حل مشكلة خلط الصفات الخاصة بالتوارث قد تكشَّف بالفعل على يد راهب أوغسطينوسي لا يتمتع بشهرة كبيرة.

السر في قرن بازلاء

وُلِد يوهان مندل (١٨٢٢–١٨٨٤) في أسرةٍ من الفلاحين المزارعين في قرية هينتشيتسي، وهي قرية سيليزية صغيرة فيما هي الآن جمهورية التشيك. في ذلك الوقت، كان معظم المزارعين ينجبون أطفالًا يصبحون مزارعين، وهو ما كان ليصبح مصير يوهان لو لم

ينتبه ناظرُ المدرسة المحلية لمواهب الصبي ويتدخَّل ليقنع الأسرةَ باستخدام مواردهم التي كدحوا في كسبها في إرسال يوهان إلى المدرسة الثانوية المحليَّة بقرية تروبو (أوبافا) القريبة. تخرَّج يوهان بعد ست سنوات لاحقة، وإن كان بعد صراع؛ إذ كان يعاني طوال حياته نوباتٍ لما نُطلق عليه اليوم اكتئابًا سريريًّا.[3]

التحق يوهان بعد ذلك بجامعة أولوموتس في مورافا ليدرُس الفلسفة والفيزياء. وقد دفعت أختُه تيريزا رسومَ التحاقه من مهرها، وجنى يوهان المالَ لقاء نفقات المأوى والمأكل من خلال التدريس للطلاب الأصغر سنًّا. وعلى الأرجح أن يوهان اكتسب اهتمامه بمجال الوراثة أثناء وجوده في جامعة أولوموتس، حيث كان عميدها للعلوم الطبيعية يوهان نستلر يُجري تجاربَه الخاصة على تناسل النباتات والحيوانات. إلا أن مهر أخته تيريزا كان محدودًا؛ لذا ولكي يكمل مندل تعليمَه التحق بدير القديس توماس في برنو عام ١٨٤٣ راهبًا مبتدئًا. وهناك اتخذ لنفسه اسم جريجور. وكما كتب لاحقًا يقول: «حدَّدت ظروفي اختياراتي المهنية».

في البداية تلقَّى جريجور مندل تدريبه ليصبح كاهنًا وأُعطي أبرشيته الخاصة، لكن رئيس الدير سيريل ناب قال عن مندل في خطابٍ أرسله عام ١٨٤٩ إلى الأسقف المحلي: «إنه كادٌّ بشدة في دراسته للعلوم، لكنه أقلُّ ملاءمة بكثير للعملِ كاهن أبرشية». فأرسل رئيسُ الدير الراهبَ ذا العقلية العلمية إلى جامعة فيينا؛ حيث درس الفيزياء تحت رعاية كريستيان دوبلر الشهير باكتشافه لتأثير دوبلر. كما تعلَّم علم النباتات على يد فرانتس أنجر وهو اختصاصي مجاهر انشغل بنظريته الخاصة عن التطور فيما قبل داروين. وفي عام ١٨٥٣، عاد مندل إلى برنو.

ليس من الواضح لمَ قرَّر مندل دراسة البازلاء تحديدًا. إلا أن ذلك الاختيار كان متسقًا مع مبادئ العلم التجريبي الذي أسَّس له جاليليو وبويل وآخرون من حيث الإبقاء على أنظمة التجريب بسيطةً قدْرَ الإمكان. فمن السهل زراعة البازلاء، كما أن معدَّل سنوات العمر في الجيل الواحد فيها يكون قصيرًا، وهي تأتي في ضروبٍ عديدة موروثة، ومن السهل إدراكها، والتي يمكن تمييزها على سبيل المثال بثمارها — والتي تكون إما مستديرةً أو مجعَّدة، وخضراء أو صفراء — أو طول قرنِها أو لون أزهارها، الذي قد يكون هو الأبيض أو الأرجواني. وكمثل جاليليو الذي صقل كرات حديدية لتصبح مكوَّرة بصورة مثالية فتتدحرج في سلاسة، صقل مندل نموذجَه التجريبي الخاص بالبازلاء، وذلك من خلال التوالد الداخلي لكل ضرب على مدى عدة أجيال حتى تصبح الصفةُ ثابتة.

ولكي يستبعِد مصدرًا آخرَ من مصادر التباين، هجَّن يدويًّا نباتاتِ البازلاء الفردية حتى يتسنَّى له معرفةُ الأبوين لكل هجين بشكل دقيق. وكما كتب مندل يقول: «التجارب على صفات البذور تُقدِّم النتائجَ بأبسط صورة وأكثرها يقينًا».[4] بحلول ذلك الوقت، لم يكن مندل بحاجة لأن يقتبس عن أرسطو ولا الأوكامي ليبرِّر تفضيله لمبدأ البساطة. إذ أصبح ذلك المبدأ بديهيًّا جدًّا حتى إن معظم العلماء كانوا غير واعين بأنهم يعملون على تلك الشاكلة.

في ورقته العلمية التي كتبها حوالي عام ١٨٦٥، يذكر مندل عزْمَه على تسليط الضوء على عملية «التخصيب الصناعي في نباتات الزينة ليحصل على ضروبٍ لونية جديدة».[5] كما أن دراساته في جامعتي أولوموتس وفيينا جعلته مدركًا للسجالات التطورية التي تضجُّ بها أروقة التاريخ الطبيعي في القرن التاسع عشر. إذ كان يملك ترجمةً ألمانية لكتاب داروين «عن أصل الأنواع»، وقد قرأها بلا شك؛ لذا في ورقته العلمية الثورية كتب مندل يقول إن تجاربَه في بحث مسألة الوراثة هي «الطريقة الوحيدة الصحيحة التي يمكن لنا أخيرًا من خلالها الوصولُ إلى إجابة لسؤال غاية في الأهمية فيما يتعلَّق بتاريخ تطوُّر الأشكال العضوية».

ولكي يكتشف كيف يتم توارثُ صفات البازلاء — كالحبوب المجعَّدة أو الأزهار الأرجوانية — هجَّن مندل نباتاتٍ ذات صفات مختلفة؛ على سبيل المثال، تلك التي تنتج أزهارًا بيضاء مع أخرى تنتج أزهارًا أرجوانية. وتوقَّع أن يرى جيلًا تاليًا من البازلاء قد يكون ذا لون أرجواني باهت. عوضًا عن ذلك، تنحَّت صفةُ البياض حيث كان لكل نباتات البازلاء أزهارٌ أرجوانية. سمح مندل بعد ذلك لهذا الجيل الأول من البازلاء أن يتخصَّب ذاتيًّا وزرع بذوره ليُنبِت جيلًا ثانيًا منه. وحين فحص أزهاره، ذُهِل لرؤيته أن صفةَ البياض قد عادت، وإن كان في ربع قرون البازلاء فقط. وعوضًا عن المزيج المتوقَّع، حصل مندل على نسب عددية صحيحة تقريبية لأزهار البازلاء الأرجوانية إلى البيضاء بواقع ثلاثة إلى واحد.

وقد أجرى مندل ما يقارب ١٥ ألف عملية تهجين مع أزواج كثيرة مختلِفة من الصفات على فترةٍ مداها ثماني سنوات، وقاسَ وسجَّل بدقةٍ الصفات في نسلها على مدى عدة أجيال. على نحو لافت للنظر، قدَّمت أزواجُ الصفات التكميلية التي فحصها أيًّا ما كانت، نسبًا عدديةً صحيحةً للصفة في النسل، على سبيل المثال، عددُ الحبوب المستديرة يبلغ ثلاثةَ أضعاف الحبوب المجعَّدة (٣:١)، أو أعدادًا متساوية (١:١)، أو حبوبًا مستديرة

فحسب (١:٠). كما لاحظ أيضًا أنه فيما يتعلَّق بكل صفة ثنائية (مستديرة أو مجعَّدة، أرجوانية أو بيضاء) كان يميل أحد الضروب فيها — كالاستدارة في الحبوب — إلى أن يكون مهيمنًا في الجيل الأول بعد التهجين، في حين تكون صفة الضرب البديل «المتنحي» (التجعُّد) مختفية حتى الجيل الثاني.

من منظور نظرية التطوُّر، كانت أهم نتيجة جرى التوصُّل إليها من تجارب مندل هي أن الصفات الموروثة لم تكن تمتزج بعضها ببعض، كما كانت العقيدة السائدة في القرن التاسع عشر بشأن الوراثة. عوضًا عن ذلك، انتقلت صفات حبوب البازلاء — سواء كانت مهيمنة أو متنحية — دون تغيير عبْر أعداد من الأجيال. إذ إن حبة بازلاء مجعَّدة من قرن فُتِح في العام ١٨٦٣ — حين أنهى مندل تجاربه — كانت مجعَّدة تمامًا كالنسل الأول لعمليات تهجينه التي أجراها في العام ١٨٥٥، وذلك رغم انتقالها عبْر العديد من نباتات البازلاء المستديرة. قد تُصنَّف الصفات الموروثة لكنها لا يمتزج بعضها ببعض. وقد أطلق مندل على العوامل المحدِّدة للصفات غير المتغيِّرة التي انتقلت عبْر الأجيال لقبَ «العناصر»، لكننا نعرفها اليوم باسم الجينات.

وعلى عكس كيبلر، لم يخبِر مندل قط بشأن المعاناة العقلية التي ربما عاناها في محاولته فهْمَ البيانات التي كانت تتعارض كثيرًا مع العقيدة السائدة. كان أول استنتاج خلَص له هو أن انتظام العدد الصحيح الذي لاحظه في الأنماط الموروثة لا بد أنه يعكس الحقيقةَ المدهشة نوعًا ما، والتي تقول إن الوراثة منفصلة عوضًا عن كونها متصلة. قد نقول اليوم إنها رقمية بدلًا من تناظرية. وبخلفيته في العلوم الفيزيائية، لا بد أن هذا الأمر أدهش مندل؛ حيث كان يعلم بلا شك أنه يفصِل الوراثة عن كل المعاملات المادية الأخرى كالسرعة أو الكتلة أو الزخم أو الضغط أو درجة الحرارة أو التسارع، والتي تختلف باستمرار. لكن بدا أن الجينات تعرف قلةً من الأعداد الصحيحة، وهي: واحد أو اثنان أو ثلاثة.

قرأ مندل ورقتَه عن الصفات الموروثة في اجتماعٍ لجمعية برنو للتاريخ الطبيعي يوم الثامن من شهر فبراير لعام ١٨٦٥، ونُشرت في العام التالي لذلك، بعد سبع سنوات فقط من نشر كتاب داروين «عن أصل الأنواع»، في خضم المعركة التي حمي وطيسُها بين مؤيدي نظرية الانتقاء الطبيعي ومعارضيها. كان بإمكان ورقة مندل العلمية الإجابةُ على بعض النقاد على الأقل. إذ ظهرت إشارة لها في كتاب «دليل إرشادي لأدبيات علم النبات» بقلم بنجامين دايدون جاكسون، والذي كان يقبع على أرفف مكتبة الجمعية اللينية، التي

كُشف فيها عن نظرية الانتقاء الطبيعي للمرة الأولى. لكن لا يبدو أن أحدًا من المتورطين في النزاع قرأها.

وحين مات سيريل ناب في عام ١٨٦٧، انتُخِب مندل رئيسًا للدير. ومنذ ذاك الحين، هجر مستنبتَه وكرَّس نفسه لمسئولياته الإدارية. وقد مات مندل يوم السادس من شهر يناير لعام ١٨٨٤ بعمر واحد وستين عامًا، غير مدرك تمامًا أنه عما قريب سيصبح مؤسِّسَ علم الوراثة. تم تفكيك مستنبتِه وحُرقت كل أوراقه في حديقة الدير.

أجابت تجارب مندل على نقد فليمينج جينكين لنظرية الانتقاء الطبيعي فيما يتعلق بمزج الصفات الوراثية. إلا أنها لم تجِب عن مشكلة مصدر التباين الطبيعي الجديد، والتي كانت وجه اعتراض كامبل على النظرية. فظلَّ أصل الأنواع الجديدة لغزًا.

زهور الربيع والذباب

وُلِد هوجو دي فريس (١٨٤٨–١٩٣٥) في مدينة هارلم بهولندا عام ١٨٤٨. ترعرع فريس بمنطقةٍ غنيَّة بالحياة النباتية، ما ألهمه الاضطلاعَ بدراسة علم النباتات في جامعة لايدين في العام ١٨٦٦. هناك، قرأ فريس كتاب داروين «عن أصل الأنواع» إلا أنه لم يكن مقتنعًا بالنظرية، وذلك لكلِّ ما ذكرنا من أسباب. وفي العام ١٨٨٦، أي بعد مرور عامين على وفاة مندل، وفيما كان يسير في حقل بور بالقرب من مدينة هيلفرسم لاحظ مجموعةً متناثرة من زهور الربيع المسائية تشتمل على عدة ضروب غريبة لم يتم وصْفها من قبل. فأخذ البذور إلى معمله وبرهن ليس فحسب على أن تلك الصفات الغريبة كانت موروثة، بل أيضًا على أنها تظهر نسبًا عددية صحيحة للصفات السائدة في مقابل الصفات المتنحية في نسلها. وأطلق دي فريس على تلك التباينات مصطلح «طفرات»، وزعم أنها تقدِّم التباينات اللازمة للترسيخ لأنواع جديدة. وبالبحث عن دراساتٍ مشابهة في أدبيات علم النبات، أعاد اكتشاف أعمال مندل. وفي العام ١٩٠١، قدَّم دي فريس نظريتَه عن أن الطفرات تمثِّل مصدر التباين الذي يَخلق أنواعًا جديدة.

بعد ذلك ببضع سنوات، في عام ١٩٠٧، بدأ العالِم الأمريكي توماس هانت مورجان (١٨٦٦–١٩٤٥) برنامجَ استيلاد مكثَّف لذبابة الفاكهة الشائعة. وبعد استيلاد الآلاف من الذباب الأحمر العين لاحظ قلةً منها ذات عين بيضاء. وبرهن على أن صفة بياض العين — والتي هي طفرة — كانت موروثةً من خلال نمط لنسب عددية صحيحة. وبالمثل أعاد اكتشاف أعمال مندل وبرهن على أن الطفرات تفسح المجالَ لنشوء حيوانات تتخطى

نطاق التباين الطبيعي في داخل النوع. والاندماج اللاحق للانتقاء الطبيعي والوراثة المندلية أصبح يُعرف باسم «التوليف التطوري الحديث» أو «التوليف الداروني الحديث». كما يظلُّ هو حجر الزاوية في علم الوراثة، وكذلك بالطبع في علم الأحياء. كما شدَّد عالِم الأحياء التطوريَّة ثيودوسيوس دوبزانسكي: «لا شيء في علم الأحياء يبدو منطقيًّا إلا في ضوء مفهوم التطوُّر».[6]

لكن في العقود الأولى من القرن العشرين، ورغم قبولنا بأن الجينات هي وحدات الوراثة ومحرِّكات التطوُّر، فإن أحدًا لم يعلم ما كانت ماهيَّتها ولا كيفية عملها. وأصبح هذا اللغز هو الملاذَ الأخير للمبدأ الحيوي للحياة، بل حتى يد الرب. هكذا وعلى سبيل المثال، في العام ١٩١١ نشر الفيلسوف الفرنسي هنري برجسون (١٨٥٩–١٩٤١) كتابَه «التطوُّر الخلَّاق» الذي يدفع فيه بأن الوراثة والتطوُّر مدفوعان من خلال «دافع حيوي» خاص بالحياة.[7] والمسعى الناتج عن ذلك والذي يستهدف استبعادَ آخرِ بقايا اللاهوت العلمي من العلم الحديث سيكون من شأنه أن يكشف أسرارَ الجزيء الأكثر استثنائية في الكون المعروف.

حلَّالو الشفرة

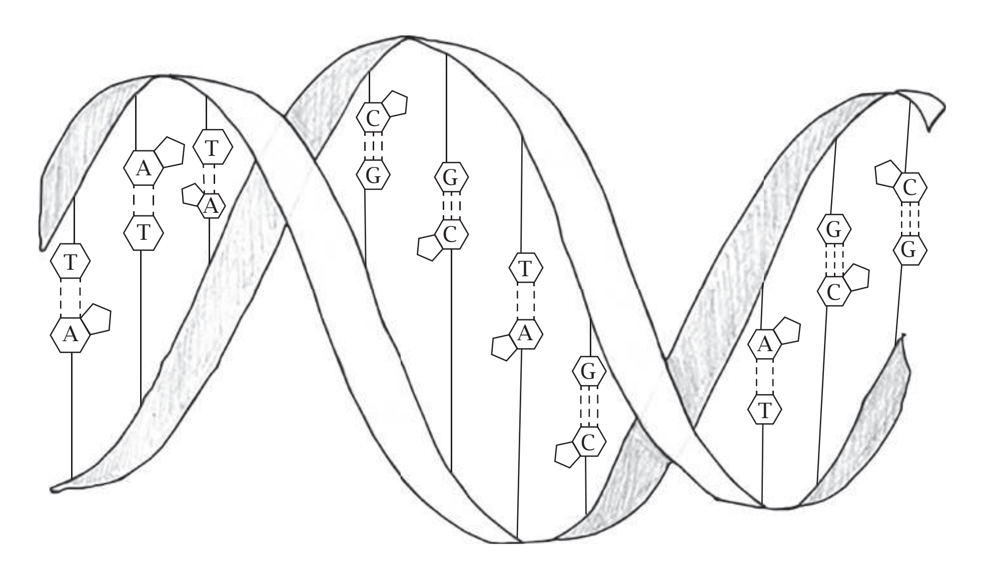
في الجزء التالي من قصِّتنا سأتخطَّى مرةً أخرى الكثير من الاكتشافات الحاسمة لأسلط الضوءَ على ما هو مهم منها فقط لفهْمنا لدور مبدأ البساطة في علم الأحياء. الخطوة الأولى في استبعاد دور القوى الحيوية في تفسير الجينات كانت البرهنة على أن هذه الجينات تتكوَّن من عناصرَ كيميائية عادية. في واقع الأمر، تُوصِّل لهذا في الوقت نفسه الذي اكتشف فيه مندل الجينات، عام ١٨٦٨ على يد الكيميائي السويسري فريدريش ميسشر (١٨٤٤–١٨٩٥). إذ فيما كان يعمل في جامعة كيبلر في توبنجن، عزل ميسشر مادةً كيميائية حيوية أطلق عليها «الحمض النووي» من خلايا دم بيضاء، وبرهن على أنها تتكوَّن من الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور. ولم يكتشف ميسشر قط ما كان تفعله مادته الكيميائية الحيوية الجديدة، لكن في العام ١٩٤٤، أظهر العالِم الكندي الأمريكي أوزوالد إيفري (١٨٧٧–١٩٥٥) أن الجينات تتكوَّن من «الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين»، أو ما نعرفه اليوم باسم الحمض النووي (دي إن إيه).

إلا أن تحديد الطبيعة الكيميائية للجينات حتى على يد إيفري لم يساعد كثيرًا؛ حيث لم يكن لدى أحد تصوُّر عن كيف أن شكل حبة البازلاء أو عين ذبابة الفاكهة أو لون

عينيك — وهي كلها صفات موروثة — يمكن أن يتحدَّد من خلال مادة كيميائية مكوَّنة فقط من ذرَّات من الكربون والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين والفوسفور. عِلاوة على ذلك، كان ينبغي أن تنتقل هذه الصفات بدقَّة على امتداد الأجيال، ممتثلة لقواعد مندل، لكن في بعض الأحيان تحدُث طفرات جديدة. وهذا نظام طويل للغاية على مادة كيميائية يمكن عزلها من خلايا حيَّة وتُجفَّف فتصبح شيئًا أشبه كثيرًا بألياف الورق.

انحل اللغز كما هو معروف في العام ١٩٥٣ على يد العالمَين جيمس واتسون وفرانسيس كريك اللذين يتخذان من كامبريدج مقرًّا لهما، وذلك باستخدام بيانات التصوير البلوري بالأشعة السينية التي قدَّمتها لهما زميلتهما روزاليند فرانكلين بكلية كينجز كوليدج والتي تتخذ من لندن مقرًّا لها. واكتشافهما للتركيب اللولبي المزدوج للدي إن إيه وقدرته على تشفير المعلومات الحيوية في الجينات هو على الأرجح الاكتشاف الأكثر إذهالًا في تاريخ العلوم بأكمله. وقد رُويَت قصةُ هذا الاكتشاف مرات عديدة؛[8] لذا سأبرز فقط حقيقةَ أن هذا الاكتشاف كان لا يزال قادرًا على حل لغز الوراثة الغامض رغم البساطة الاستثنائية للجزيء ذي الصلة.

ومن بين صفات هذا الجزيء البسيطة نجد أن تركيبته الكيميائية هي الأبرز (انظر شكل ١٥-١). فهو يتكوَّن من تسلسلات من أربع مجموعات كيميائية فقط تُدعى قواعد الدي إن إيه والتي تتخذ من الحروف A، وT، وG، وC رموزًا لها، وهي مثبَّتة على عمادٍ لولبي كالخرز في الخيط. وكل ضفيرة في اللولب تقترن بأخرى أشبه بصورة معكوسة لها، وهي ضفيرة مكمِّلة تحكمها قاعدة بسيطة، أن تكون القاعدة A مقترنة بالقاعدة T والقاعدة G مقترنة بالقاعدة C. وقد أدرك كلٌّ من واتسون وكريك أن تلك الأحرف الجينية كانت شفرات لصناعة البروتينات. ومبدأ تشفير الدي إن إيه للبروتين بسيط أيضًا. إذ تشفِّر ثلاثة أحرف من الدي إن إيه كلَّ حمض من الأحماض الأمينية البروتينية العشرين والتي تدخل في تكوين البروتين. لذا وعلى سبيل المثال، تشفِّر الأحرف GGC الحمض الأميني الجلايسين، فيما تشفِّر الأحرف CAA الجلوتامين. وتصنع البروتينات الإنزيمات، والإنزيمات هي المصانع الجزيئية التي تصنع الجزيئات الحيوية الأخرى داخل خلاياك وخلايا كل حيوان ونبات وميكروب عاش من قبلُ على سطح كوكبنا. وهكذا فإن المحيط الحيوي بأكمله مكتوب بشفرة تتكوَّن من أربعة أحرف، أي بأقل كثيرًا من الأحرف المستخدمة لكتابة هذا الكتاب. بالطبع ليس هناك برهان أقوى من هذا على قدرة القواعد البسيطة على توليد تعقيد استثنائي. وقد قيل بالطبع — بناءً على مبادئ ميكانيكا الكم — بأن الشفرة الجينية بسيطة بقدرِ ما يمكن لها أن تكون.[9]



شكل ١٥-١: التركيب اللولبي المزدوج للدي إن إيه.

وفي العقود التي تلت الاكتشاف الذي توصَّل إليه واتسون وكريك، تبيَّن أن الطفرات هي أيضًا كيانات مادية. فقواعد الدي إن إيه الكيميائية يمكن أن تتلف بفعل الحرارة أو الإشعاع أو أشعة الشمس القوية أو مجرد التقدُّم في العمر. ويمكن لهذا التلف أن يعدِّل من حرف جيني بحيث يُضاف حرف التشفير الخاطئ إلى أحد الجينات حين يتم تكراره، مما يسبِّب طفرة. وستكون الطفرة في غالب الأمر حميدة، إلا أنها ستُنتِج بين الحين والآخر صفةً مغايرة، كالأزهار البيضاء عوضًا عن الصفراء في زهرة الربيع. وإن كان هذا المتغيِّر يمثِّل ميزة، فإن الانتقاء الطبيعي سيحرص على أن تُصبح الأنسال التي تحمل المتغيِّر الجديد المفيد أكثرَ عددًا. وإن حدث هذا في مجموعة سكانية معزولة، فسيؤسِّس هؤلاء لنوع جديد. لكن إن كان المتغيِّر الجديد يجعل من الكائن أقلَّ صلاحية للبقاء، فسيصبح الجين أقل عددًا حتى تضيع الطفرة في نهاية المطاف من المجموعة. وبالنظر إلى طبيعة الجينات وحتمية الانتقاء الطبيعي، يصبح التطور حتميًّا كسقوط تفاحة من فوق شجرة.

مرة ثانية وكما هو الحال في كل العلوم، الآليةُ الجينية هي نموذج. وهذا النموذج بسيط كمثل كل النماذج المفيدة إلا أنه يتمتع بقوًى تنبؤية مذهلة. وقد سخَّر علم الأحياء الجزيئية نموذجَ الجينات البسيط ليقدِّم مزايا صحيَّة لا حصر لها، بما في ذلك أدوية

وعلاجات ومحاصيل جديدة يقتات عليها مجموعة سكانية مطردة النمو، وذلك إضافة إلى اللقاحات التي يجري توزيعها فيما أكتب هذه السطور لحماية سكان العالم من فيروس كوفيد-١٩. لكن تلعب الجينات دورًا آخر — لربما كان متناقضًا — في دعواي بأن الحياة بسيطة. هذه المرة ينطوي الأمر على أحد القوارض القبيحة بعض الشيء وبعض النحل.

مصير الجينات غيرِ المرغوب فيها

تتصف الحشرات الاجتماعية العليا (وهي مجموعة تشمل النحل والنمل) بتركيباتها الاجتماعية المعقَّدة، بما في ذلك تقسيم العمل والأعشاش العالية التعقيد، والمِلكة الواحدة المسئولة عن التكاثر في معظم الأحيان والتي تخدمها شغَّالات عقيمات والأنماط المعقَّدة من التواصل فيما بينها، كالرقصة التي على شكل العدد ثمانية عند نحل العسل. وتبدو الشغَّالات العقيمات للوهلة الأولى مناقضةً لمبدأ «الصراع الشديد» في الانتقاء الطبيعي، والذي يمكن لنا أن نتوقَّع أنه يؤثِر الأفرادَ الذين يقدمون مصالحهم على مصالح الآخرين. إذ لمَ قد تتخلَّى إحدى الشغَّالات من النمل عن خيار التكاثر من أجل مساعدة أختها؟ يتعمَّق هذا السؤال في قلبِ لغز في علم الأحياء، خاصة فيما يتعلَّق بنوعنا البشري: وهو مبدأ الإيثار. فعلى النقيض لما يمكن أن يُتوقَّع من مبدأ البقاء للأصلح، نجد أن كثيرًا من الحيوانات — كالحشرات الاجتماعية العليا — تتشارك فيما بينها المواردَ وأساليب الدفاع، لكن لماذا؟

اقترح عالِم الأحياء التطورية الإنجليزي ويليام دي هاملتون (١٩٣٦–٢٠٠٠) إجابةً محتملة عن هذا السؤال. تتشارك معظم الحشرات الاجتماعية العليا فيما بينها نظامَ توارثٍ غريبًا يُدعى الفردانية الضعفانية، والذي يحظى فيه الذَّكر بنسخة واحدة فقط عوضًا عن نسختين من كل جيناته، فيما تحصل الأنثى على النسختين الطبيعيتين. وتطبيق قواعد مندل على هذا النمط من التوارث يضمن أن تتشارك الإناث ٧٥ بالمائة من جيناتها عوضًا عن الخمسين بالمائة المعتادة في البازلاء أو البشر أو الحيوانات والنباتات الأخرى. وقد أجرى هاملتون الحساباتِ واكتشف أن الإناث غالبًا ما تحظى بفرصةٍ أفضل في نقل جيناتها وتمريرها بمساعدة أختِها — المِلكة — في التكاثر عوضًا عن إنتاج بيضها الخاص بها. وفقًا لهذه النظرية، ورغم أن شغَّالات النمل أو النحل قد تبدو إيثارية، فإن جيناتها في واقع الأمر هي المسئولة عن ذلك. إن الشغَّالات ومِلكتهم تتحكم فيهما جيناتهما.

أبرز ما في هذه النظرية أن تغييرًا بسيطًا واحدًا في النمط المندلي البسيط للتكاثر والتوارث قد يُنتِج مخلوقاتٍ مختلفة على نحو كبير. بالطبع هذه سِمة في أي نظام بسيط. وفي حين أن التراكيب المترابطة الشديدة التعقيد تنزِع لأن تكون قوية في مواجهة الاضطرابات، فإن تعديل قوانين نظام بسيط — كالتوارث — سيخلِّف صدًى في النظام بأكمله، مما يَنتج عنه تأثيراتٌ كبيرة. نشر هاملتون نظريتَه عن انتقاء الأقارب عام ١٩٦٤، ورغم أنها لقيت تجاهلًا في بادئ الأمر، فإنها في النهاية أحدثت ثورةً في علم الأحياء التطورية والذي أصبح يُعرف باسم علم الأحياء الاجتماعي في سبعينيات القرن العشرين، وبصفة خاصة بعد نشر كتاب ريتشارد دوكينز الكلاسيكي عام ١٩٧٦ بعنوان «الجين الأناني».[10]

لم يكن ديك ألكسندر (١٩٢٩–٢٠١٨) — وهو أمين متحف علم الحيوان في جامعة ميشيجان — مقتنعًا بنظرية هاملتون. فباعتباره عالِمَ حشرات وخبيرًا في الحشرات الاجتماعية العليا، أشار ألكسندر إلى أن معظم الأنواع التي يحظى فيها البالغون بنسخة واحدة من جيناتهم — بما في ذلك الكثير من أنواع الخنافس والعث والذباب الأبيض ومفصليات الأرجل الأخرى — ليست بحشرات اجتماعية عليا؛ في حين أن الأرَضَة التي يحظى البالغون فيها بنسخ مزدوجة مثلنا من كل جين هي حشرات اجتماعية عليا. رغم ذلك، فإن النمل والأرَض والنحل تتشارك عادةً بناء أعشاش مشتركة قويَّة يمكن الدفاع عنها. وفي محاضرة له في جامعة أريزونا عام ١٩٧٦ قدَّم نظرية بديلة تقول بأن صفة الاجتماعية العليا في الحشرات تتسبَّب بها عواملُ بيئية وليست جينية. وهذه النظرية بسيطة وتقدِّم تنبؤًا دقيقًا كمثل كل النظريات البسيطة. تنبَّأت هذه النظرية بأن صفة الاجتماعية العليا ستنشأ — حتى بين الثدييات — أينما كان ثمَّة «مواقع أعشاش آمنة أو قابلة للدفاع عنها وطويلة الأمد وغنية بموارد الغذاء». واقترح قوارض الجحور باعتبارها مرشحًا محتملًا والمناطق الاستوائية باعتبارها موقعًا محتملًا لها، حيث ستكون الجحور مغلقة بإحكام في وجه المتطفلين تحت تربة تتعرَّض لوهج شمس شديد، إلا أن موارد الطعام ستكون متاحة أمامها في شكل الدرنات النباتية التي تخزِّن العناصرَ الغذائية تحت الأرض لتنجو من حرائق الغابات.

بعد محاضرته، ذُهِل ألكسندر حين اكتشف أن نظريته قد ثبَتت صحَّتها بالفعل ومن دون قصد. إذ إنه بعد أن نزل عن المنصة أتاه أحد الحضور — وهو عالِم حيوان يُدعى تيري فوجان — ينوِّه له بأن «حيوانك الثديي الاجتماعي الأعلى المفترض هو الوصف الأمثل

لفأر الخَلَد العاري الأفريقي».[11] لم يكن ألكسندر قد رأى أو سمِع من قبل حتى بفأر الخلد العاري، لكن أراه فوجان عيِّنة مجفَّفة له كان قد جمعها أثناء سنة راحة قضاها في كينيا. ورغم أن هذا الحيوان قد اكتُشِف قبل قرن من الزمن، فإن أحدًا بالكاد درسه، وعلى قدرِ ما انتهى إليه علم فوجان، فإن الشخص الوحيد الذي كان يعمل حينها على هذا القارض الغامض هي عالمة حيوان تُدعى جينفر جارفس وتتبَع جامعة كيب تاون.

وفئران الخلد العارية ليست بفئران في واقع الأمر. إذ تنتمي لفصيلةٍ من القوارض الأفريقية تُعرف باسم العرميات تشغل موطنًا بيئيًّا مشابهًا لذلك الخاصة بفصيلة الغوفرية في أمريكا الشمالية. كانت جارفيس تدرس هذا الحيوان منذ مشروع أطروحتها للحصول على درجة الماجستير عام ١٩٦٧. وفي السبعينيات حاولت أن تنشئ مستعمرةً من تلك الحيوانات في مختبرها في كيب تاون، إلا أنها تمكَّنت من حمل أنثى واحدة فقط في المستعمرة على التوالد. وقد فهِمت أخيرًا فحوى الأمر، وذلك حين تلقَّت عام ١٩٧٦ خطابًا من ديك ألكسندر يسألها فيه عن تلك الحيوانات ويخبرها عن نظريته بشأن الثدييات الاجتماعية العليا. وقد أكَّدت جارفيس أن فأر الخلد العاري كان بالفعل نوع الحيوان نفسه الذي تنبأ ألكسندر بأرجحية وجوده.

تشيع فئران الخلد العارية بكثرة في شرق أفريقيا، حيث تُعرف في بعض الأحيان باسم جراء الرمل. هذه الفئران التي تقريبًا في حجم فأر صغير عديمةُ الشَّعر تمامًا وجِلدها مترهِّل وأسنانها تشبه أنيابَ الفيل وتستخدمها في الحفر. وتظل هذه الحيوانات تحت الأرض طوال حياتها التي تمضيها في جحور مظلمة؛ لذا فإنها شبه عمياء رغم أنها تملِك عيونًا صغيرة. وإضافة إلى كون هذا النوع محلَّ اهتمام علماء الأحياء التطورية، فقد أسرَ اهتمامَ الباحثِين الطبيِّين حيث إنه لا يُصاب بالسرطان أبدًا ويعيش حياةً مديدة بصورة استثنائية تصل إلى ثلاثين عامًا أو أكثر. وقد أدَّت هذه الصفات الفسيولوجية إلى توصُّل العلماء إلى جينوم فأر الخلد العاري عام ٢٠١١.[12] حيث قدَّمت البيانات المنشورة أدلةً حول الجينات التي تؤثِّر في طول العمر وعدم الإصابة بالسرطان؛ لكن ما يهمنا بصورة خاصة هو ما يحدث لجينات فأر الخلد العاري التي صار مصيرها الإهمال.

اكتشف الباحثون أن حوالي ٢٥٠ جينًا من جينات فئران الخلد العارية قد تعرَّضت للكثير من الطفرات حتى إنها لم تَعُد فعَّالة. بمعنًى آخر، أصبحت هذه الجينات ميِّتة. ورغم كونها غير فعَّالة، فإن تلك «الجينات الزائفة» كما يُطلق عليها تظل قابلة للتعرُّف عليها من تسلسلات بصمات الدي إن إيه التي تبيِّن وظيفتها السابقة. على سبيل المثال،



شكل ١٥-٢: فأر الخلد العاري.

تسعة عشر جينًا من تلك معنيةٌ بعملية الرؤية، أحدها كان مشفِّرًا لبروتين عدسة العين، وآخر لصبغة الشبكية وثالث كان معنيًّا بنقل الإشارات الضوئية إلى المخ.

هذا النمط من التشوُّه الجيني — الذي يتخذ شكل طفرات متكررة — للجينات غيرِ الفعَّالة هو تمامًا — لربما بشكل يثير الدهشة — ما يتنبأ به التوليف الدارويني الحديث لنظرية الانتقاء الطبيعي والطفرات. وكما اكتشف دي فريس وآخرون غيره، فإن الجينات لا محالةَ تكتسب طفرات. لكن تتنبأ نظريةُ الانتقاء الطبيعي بأن الأنسال التي تحمل طفراتٍ ضعيفة ستنزِع لأن تخلِّف ذريَّة أقلَّ وليس ذريةً أصلح؛ لذا فإن الجينات المعيبة ستميل لأن تضيع من المجموعة السكانية. على سبيل المثال، جين الرؤية المعيب في فأرٍ سينتهي به المآل على الأرجح في معدة قطة أو بومة أكثرَ مما سينتهي به المآل في أي من ذريته. وهذه العملية التي تُعرف باسم الانتقاء المُنقي تنزع نحو استبعاد الطفرات التي تتلف الجينات من المجموعة السكانية.

لكن ما إن كانت الطفرة ضارة أم لا هي مسألة تتعلَّق ببيئة الحيوان. لنتخيَّل أن انهيارًا أرضيًّا أغلق مدخلَ جُحر لفصيلة من قوارض الجحور. لكن لحسن الحظ كان

جحرها يحظى بمصدرٍ لا ينضب من درنات تنمو في الأسفل من نباتات على سطح الأرض؛ لذا فإن الحيوانات التي تقطن تحت الأرض لن تنجو فحسب، بل ستزدهر. وفي جحرها المظلم، تكون كل الحيوانات عمياء؛ لذا ينبغي لها الاعتماد على حواسِّها الأخرى كالسمع والشم. في الظلام، لن تهتم عملية الانتقاء الطبيعي بالطفرات التي تتلف الرؤية؛ لذا فإن الانتقاء المنقي لن يعود صالحًا للعمل. ومن دون الانتقاء المنقي، ستتراكم الطفرات الضارة حتى تصبح الجينات المرتبطة بالرؤية جيناتٍ زائفة غير فعَّالة. وسيتطور الحيوان القارض الذي يستطيع الرؤية ليصبح فأر خلد عارٍ أعمى بحيث لن يمكن له النجاة أبدًا فوق سطح الأرض.

استخدِمْه أو افقِدهُ: البقاء للأبسط

يوضِّح المسارُ التطوُّري لفأر الخلد العاري أحد تبِعات الانتقاء الطبيعي التي لا تحظى باهتمام كبير: ألا وهو مبدأ استخدِمْه أو افقدهُ. إن أصبحت إحدى الوظائف — كالرؤية مثلًا — عديمةَ الجدوى فإن الطفرات ستتراكم لا محالة في الجينات المسئولة عنها حتى تُفقد تلك الوظيفة. وهناك اضمحلال جيني مشابه في مسارات تطوريَّة كثيرة أخرى. فحين أصبحت الحيتان البالينية تتغذى بالترشيح، أقلعت عن العض ومِن ثَمَّ أصبحت الجينات المسئولة عن صناعة مينا الأسنان جيناتٍ زائفة.[13] وحين تحوَّلت الباندا العملاقة من كونها آكلات لحوم إلى التغذِّي على نباتات البامبو، فقدت القدرةَ على تذوُّق طعم الأومامي، وهو الطعم الذي ساعد أسلافها — ويساعدنا نحن — على تذوُّق اللحوم. وهذا التحوُّل الغذائي عند الباندا تبِعه تحوُّل الجين الذي يشفِّر مستقبِل طعمِ الأومامي لديها لجين زائف.[14] وعلى نحوٍ مشابه فقدَ البشر مجموعةً من المستقبِلات الشمِّية تجاه روائح لم نَعُد بحاجة لشمِّها. هل تساءلت من قبلُ قط لمَ لا تحب قطَّتك الأليفة الكعك؟ هذا لأن الجين الذي يشفِّر مستقبِل الطعم الحلو لديها أصبح جينًا زائفًا بعد أن تحوَّلت إلى آكلة للحوم.[15]

النتيجة المترتِّبة على عملية تراكم الطفرات هذه في غياب الانتقاء المنقي هي ضياع الوظائف الحيوية التي أصبحت تفوق الضرورة — كالرؤية في فئران الخلد العارية — بفعل شفرة أوكام تطوُّرية من نوعٍ ما. والنتيجة المنطقية لهذه الشفرة التطوُّرية هي أننا — وكل كائن على قيد الحياة الآن — نكاد نكون بسطاء على المستوى الجيني — من حيث الوظائف — بقدرِ ما يمكن لنا أن نكون. و«نكاد» هنا لفظ ضروري لأن عملية

التطوُّر قد لا تكون عمِلت بعدُ كلَّ ما يمكنها لاستبعادِ التعقيد الزائد عن الحاجة، كما هو الحال في الزائدة الدودية مثلًا. عِلاوة على ذلك، قد لا يكون ممكنًا في بعض الأحيان لعملية التطور أن تستبعِد وظيفةً زائدة عن الحاجة — كالحلمات لدى الرجال — من دون إعادة تشكيل واسعة النطاق لمسارات التطوير. الحياة حقًّا بسيطة، لكنها ليست دائمًا بسيطة بقدرِ ما يمكنها أن تكون.

ومبدأ استخدِمْه أو افقِدهُ صحيح في عملية التطور بقدرِ ما هو كذلك في مجال اللياقة البدنية، لكن قد يكون هناك جانبٌ أكثر شؤمًا لهذه القصَّة.

بساطةٌ قاتلة

بينما أكتب هذه السطور في نهاية العام ٢٠٢٠، وكمثل مئات الملايين من الناس حول العالم، أنا ملازِم المنزل بسبب ظهور فيروس كوفيد-١٩، تلك الكرة التي يبلغ حجمها ١٠٠ نانومتر؛ أي إن حجمه أصغرُ من حجم كرة القدم بمقدار ١٠ ملايين ضعف. هذا الجسيم الدقيق، الذي يكون خاملًا تمامًا خارجَ أي خلية حيَّة، جعل العالَم الإنساني بأسرِه تقريبًا راكعًا على ركبتيه.

ورغم أن هناك سجالاتٍ حول ما إن كانت الفيروسات كائنات حية بما أنها غير قادرة على التكاثر ذاتيًّا، فإنها تُعَد أبسطَ الكائنات القادرة على التكاثر. وعوضًا عن التكاثر ذاتيًّا، اختارت تلك الأنواع الاستغناءَ عن كل الآليات الخلوية تقريبًا والقيام عوضًا عن ذلك بمهمةٍ واحدة فقط بكفاءة قاتلة: ألا وهي حقن جينوماتها في خلايانا حيث تداهن آلياتنا الخلوية لصناعة المزيد من البروتينات الفيروسية. بعدها تجتمع تلك البروتينات بصورةٍ تلقائية فتكوِّن جسيمات فيروس جديد تندفع من خلايانا لتنقل العدوى لخلايا أخرى لتخرج من رئتينا عن طريق السعال، أو لنذرفها من جهازنا الهضمي أو لتنبثق من جروحنا الجلدية، في واقع الأمر، أي سطح خارجي يؤدِّي بها إلى عائل جديد.

في عام ١٩٧٧، وصف عالِما الأحياء جان وبيتر مدور أحدَ الفيروسات باعتباره «خبرًا سيئًا مغلَّفًا بالبروتين». الخبر السيئ هو جينوم الفيروس، والبروتين هو مادة الغلاف الفيروسي. يتكوَّن جينوم الفيروسات من حوالي ٣٠ ألف حرف جيني فقط والذي يشفِّر — حين يُقاس بوحدات البت — تقريبًا قدْرَ المعلومات نفسه الذي يحويه فصلٌ من هذا الكتاب. ولتلك المعلومات هدف واحد لا غير، هو التكاثر. لكن حين نعبِّر عن تلك النزعة نحو التكاثر الذاتي بأبسط أشكالها — والتي صقلها أبسطُ قوانين كوننا وهو

الانتقاء الطبيعي — نجد أنها اكتسبت القدرةَ على قلب كل خططنا أو آمالنا أو أفكارنا أو إبداعاتنا أو طموحاتنا أو مخاوفنا أو ما نحب أو ما نكره رأسًا على عقب، وتحويلنا إلى مجرد مصانع للفيروسات. ومنطق الانتقاء الطبيعي البسيط يؤكِّد أننا سنظل مغلوبين، ما دام بإمكان الفيروس فِعْل ذلك بصورةٍ أسرع من قدرتنا على قتله.

لا أحد يعلم كيف نشأت الفيروسات. إذ إنها تختلف تمامًا حتى عن أبسط الكائنات المتكاثرة ذاتيًّا بحق وهي البكتيريا؛ لذا لم يكن من الممكن تتبُّع نسلها التطوُّري. تقول إحدى النظريات بأنها نشأت فحسب من قبيل المصادفة عند تجمُّع البروتينات مع الأحماض النووية في داخل الخلايا. في رأيي أن السيناريو الأرجح هو أنها تمثِّل المرحلةَ النهائية لمسار شفرة أوكام في مجال علم الأحياء؛ إذ صنعت جيناتٍ زائفة من الجينات في بادئ الأمر، ثم استبعدت كل المعلومات الجينية الفائضة عن الحاجة عدا الحد الأدنى من البقايا اللازمة للتكاثر الذاتي، ما نتج عنه الفيروسات. وأيًّا ما كانت أصولها، فإن الفيروسات هي البرهان الأكثر حسمًا على أن الحياة بسيطةٌ على نحوٍ شرير في بعض الأحيان.

الجزء الرابع

الشفرة الكونية

الفصل السادس عشر

هل عالَمُنا هو الأفضلُ في كل العوالم الممكنة؟

> هايزنبرج: ترشدنا الطبيعة إلى أشكالٍ رياضية ذات بساطة وجمال مذهلين … لا بد أنك شعرت بهذا أيضًا: البساطة وكمال العلاقات اللذان يكادان يكونان مخيفين واللذان تنشرهما الطبيعة أمامنا فجأة …
>
> أينشتاين: … لهذا السبب أنا مهتم كثيرًا بملاحظاتك حول البساطة. لكن لا ينبغي لي أبدًا أن أزعم أنني أفهم حقًّا المقصود ببساطة القانون الطبيعي.
>
> فيرنر هايزنبرج في حوار مع ألبرت أينشتاين، ١٩٢٦[1]

حين تركنا الفيزياءَ لنتعرض لعلم الأحياء في الفصل الثالث عشر، كان علماء القرن التاسع عشر قد حقَّقوا بالفعل إنجازاتٍ هائلة في تطبيقهم للقوانين البسيطة على حركة الأجسام في كلٍّ من الأرض والسماء. في الواقع، زعم الفيزيائيون أن الفيزياء تتمتَّع بالكمال إلى حدٍّ كبير. إلا أن العالِم الفيزيائي اللورد كلفن (١٨٢٤–١٩٠٧) المولود في شمال أيرلندا حذَّر في اجتماعٍ للجمعية البريطانية لتقدُّم العلوم قربَ نهاية القرن التاسع عشر من أن هذا التقييم المتفائل تُعارِضه «غمامتان صغيرتان» تلوحان في الأفق، مشكلتان كان لا يزال على الفيزياء أن تجِد لهما حلًّا. ومما يَلفت النظر أن انقشاع هاتين الغمامتين أطلق ثورتين أسقطتا معظمَ الثوابت التي كانت سائدة في فيزياء القرن التاسع عشر.

كلتا الغمامتان اللتان أشار إليهما كلفن كانت معنيَّة بطبيعة الضوء. قبل ما يقارب القرنَ من الزمان، كان توماس يانج (١٧٧٣–١٨٢٩) قد برهن على أن الضوء يتحرَّك في شكل موجات، بما يشابه موجات الصوت والماء من حيث المبدأ. وتحتاج الموجات إلى وسط كالماء أو الهواء لتنتقلَ خلاله. كان يانج قد برهن أن الضوء يتحرَّك عبْر فراغ؛ حيث

يتحتَّم عليه ذلك ليصلنا إما من الشمس أو من نجم بعيد. فما الذي يمكن أن يتحرَّك في فراغٍ لينقُل موجات الضوء؟

لم يكن لدى أحد أدنى فكرة. وفي شيء من اليأس، أعاد العلماء إحياءَ مفهوم الأثير السماوي الذي يعود إلى أرسطو. ستتذكُر أن أرسطو لكي يجعل نظريته عن الحركة تعمل والتي تقول بأن «أيًّا ما يتحرَّك فهو يتحرَّك بفعل شيء آخر»، ملأ الفراغ بين الأشياء بملاء يتكوَّن في السماء من الأثير. ورغم أن هذا المفهوم أضحى مهجورًا على نحوٍ كبير بعد برهنة بويل أن الطبيعة لا تمقت الفراغ، فإن تجارب يانج أعادت إحياءَ فكرة أرسطو عن ملاء الأثير ككيان لملء الفراغ بما يقدِّم وسَطًا تتحرَّك خلاله موجات الضوء. عِلاوة على ذلك، كان للأثير ميزةٌ إضافية وهي ملء تلك الفجوة التفسيرية في فيزياء نيوتن، وذلك من خلال تقديم إطار يمكن ضمنه دائمًا قياسُ سرعة جسمٍ ما أو تسارُعه. كان نيوتن قانعًا بأن يسمح لعين الرب بأن تقدِّم مثل ذلك الإطار، لكن بحلول أواخر القرن التاسع عشر، كان الفيزيائيون أكثر تقبُّلًا لأثيرٍ مادي.

أولى أحجيتَي اللورد كلفن كانت تتعلَّق بطبيعة هذا الأثير. إن كان هذا الأثير قاعدةً خفية من نوعٍ ما لموجات الضوء تملأ الفضاء كله، فينبغي أن يكون من الممكن قياس سرعة أي جسم بالنسبة إلى الأثير، تمامًا كما يمكن قياس سرعة قارب بالنسبة إلى مياه البحر. بالطبع هذه المهمة أكثرُ صعوبة بكثير؛ حيث إن موجات الضوء تتحرَّك بسرعةٍ تصل إلى ٣٠٠ مليون متر في الثانية، وهذا أسرع بصورةٍ مهولة من أي جسم يتحرَّك على الأرض. لكن في العام ١٨٨٧، أتى العالِمان الأمريكيان ألبرت ميكلسون وإدوارد مورلي بفكرةٍ ذكية وهي قياس سرعة الضوء بالنسبة إلى أسرع جسم يتحرَّك على الأرض، وهو بالنسبة إلى الشمس الأرضُ نفسها. تدور الأرض حول محورها بسرعة تصل إلى ٤٤٧ مترًا في الثانية كما تدور حول الشمس بسرعة تصل إلى ٣٠ ألف متر في الثانية. وقد أدرك الفريق، على نحوٍ أشبه بتأثير دوبلر، أن سرعة الضوء ينبغي أن تكون مختلفة إذا قيست في اتجاه حركة الأرض؛ أي عبْر الأثير أو على نحو عمودي على ذلك الاتجاه.

إلا أن سرعة الضوء لم تختلف. ورغم أنهما بذلا أفضلَ ما يمكنهما، فقد كانا دائمًا ما يرصدان سرعةَ الضوء نفسها تمامًا، بغض النظر عما إن كانت الأرض تتحرَّك في اتجاه موجات الضوء أو بعيدًا عنها. وهذا لم يكن منطقيًّا في ظل نظرية عن الضوء تقوم على موجات الأثير، وهو شيء وجد اللورد كلفن أنه مزعج.

كانت ثانية غمامتَي كلفن هي مشكلة في نظرية الديناميكا الحرارية الكلاسيكية. في وقتٍ مبكِّر من القرن التاسع عشر، كان ماكسويل وبولتسمان قد جمعا بين نظرية

كارنو عن نقل الحرارة وميكانيكا نيوتن ليستقيا نظريةَ الديناميكا الحرارية الحديثة أو الميكانيكا الإحصائية. نتج عن هذا تصوُّر لمادة تتكوَّن من تريليونات الذرَّات تتسبَّب حركتها العشوائية في توليد حرارة. وحين يتفاعل الضوء مع المادة يمكن امتصاصه لزيادة الطاقة الحرارية — أو السرعة — الخاصة بالذرَّات. في المقابل، يمكن إبطاءُ حركة الذرَّات من خلال انبعاث الطاقة الضوئية. كانت نظرية الديناميكا الحرارية الكلاسيكية تعمل جيدًا إلى حدٍّ كبير فيما يتعلَّق بتفسير البيانات إلا أنها لم تنجح في تفسير طيف الإشعاع المنبعث من جسمٍ معروف باسم الجسم الأسود، والذي يمتص كلَّ الضوء الساقط عليه. مثال تقريبي جيِّد على ذلك هو ثقب في جدار في غرفة شديدة الإظلام، لكن من الأسهل أخذ فكرةٍ عن هذه المشكلة بالانتقال إلى عالَم الصوت المألوف أكثر.

هبْ أنك تملك بيانو كبيرًا. وهبْ كذلك أنك أمسكت بمرزبة وضربت بها البيانو ضربةً هائلة (لن يتعرض أي بيانو كبير للضرر في هذه التجربة الذهنية). البيانو يعجُّ بالأوتار وسينتج عن الضربة أن تهتزَّ كلُّ تلك الأوتار بكل التردُّدات الممكنة مما ينتج عنه تنافرُ نغماتٍ يخفُتُ ببطء حتى يصبح همهمةً خافتة. حين تُسخَّن الأجسامُ السوداء — وهي المكافئ الجزيئي لامتصاص ضربة قوية من مرزبَّة — فإنها تبعث بالضوء في حزمةٍ محدودة تعتمد فقط على درجة حرارة الجسم الأسود، وذلك عوضًا عن بعث الضوء بكل التردُّدات الممكنة. الأمر أشبه، بعد ضرب البيانو الكبير الخاص بك، بأن يبعث نغمةً واحدة هي نغمة «دو» وسطى، والتي تتحوَّل إلى «ري» أو «مي» إذا ما أجريت تجربةَ الضرب بالمرزبة في حجرةٍ أكثرَ دفئًا. لاحظ كلفن أن هذا في غاية الغرابة، كثبات سرعة الضوء.

بساطةٌ نسبية

رُويت قصةُ انكشاف غمامتَي كلفن الصغيرتين في العديد من الكتب الرائعة؛[2] لذا سأركِّز فحسب على إبراز دور البساطة فيها. إذ تشتمل كلتاهما على عمل موظَّف تسجيل براءات اختراع استثنائي من مدينة برن.

وُلِد ألبرت أينشتاين في عام ١٨٧٩ في مدينة أولم بألمانيا، وهو ابن هيرمان أينشتاين — التاجر والمهندس الكهربائي — وبوليني كوخ. وبعد فترةٍ صعبة من التعليم، درس الفيزياء والرياضيات في زيوريخ لكنه بعد تخرُّجه لم يتمكَّن من الحصول حتى على أبسط وظائف التدريس الجامعي. لكن لحسن الحظ، في العام ١٩٠٢، عرض أحد أصدقاء والده عليه وظيفةَ خبير فني في مكتب تسجيل براءات الاختراع في مدينة برن. ورغم أن العمل

كان روتينيًّا، فإن ألبرت كان مسرورًا كثيرًا بوظيفته. فزعم لاحقًا أنه في «ذلك المعتزَل الدنيوي تفتَّق ذهني عن أجمل أفكاري». وكانت إحدى أجمل أفكاره هي حلًّا محتمَلًا لمشكلة سرعة الضوء عبْر الأثير عند كلفن. إلا أن اهتمام أينشتاين بالمشكلة لم يكن بسبب تجارب ميكلسون ومورلي. في واقع الأمر، يبدو أنه كان غيرَ مطَّلع على عملهما. عوضًا عن ذلك، كان أينشتاين منزعجًا بفعل إحدى الحقائق الغريبة الأخرى والتي لم يفلح كلفن في الانتباه إليها فيما يتعلَّق بسلوك الآلات الكهربائية.

يعرِض عمل الفيزيائي الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل لأصل هذه المشكلة؛ حيث اكتشف في العام ١٨٦٥ مجموعةً من المعادلات البسيطة التي تشرح سلوك كلٍّ من الكهرباء والجذب المغناطيسي بلغة «المجالات». في علم الفيزياء، يُستخدم هذا المصطلح لوصف أحجام الحيز التي تسبِّب حركةَ الأشياء. وهكذا فإن حركةَ التفاحة الساقطة من شجرة سببُها المجال المغناطيسي للأرض؛ وانجذاب إبرة البوصلة إلى القطب الشمالي يسبِّبه المجال المغناطيسي للأرض؛ وحركة خيط من القطن تجاه الكهرمان تسبِّبها مجاله الكهربائي. وجد ماكسويل مجموعةً واحدة من المعادلات التي تصف كلًّا من الكهرباء والجذب المغناطيسي فيما يتعلَّق بالمجالات، مبرهنًا على أنهما كليهما جانبان لمجال «كهرومغناطيسي» واحد. في واقع الأمر، ما يبدو قوةً كهربائية لراصد متحرِّك يُرى كقوة مغناطيسية لراصد ثابت والعكس صحيح. مِن ثَمَّ حين كتب ماكسويل معادلاته فإنه وحَّد قوتَي الحجر المغناطيسي والكهرمان تحت قوة «الجذب الكهرومغناطيسي» ليتحصَّل على أول توحيد — ومِن ثَمَّ تبسيط — بارز للفيزياء الكلاسيكية.

على الأرجح أن معادلات ماكسويل حقَّقت أهمَّ توحيد في علمِ الفيزياء بأسرِه وعليه جعلت العالَم أبسطَ بصورة هائلة. إلا أن هذا التوحيد كان قد حدث قبل عدة عقود من تأمُّلات أينشتاين في مكتب تسجيل براءات الاختراعات. ما أثار اهتمامَ أينشتاين كان وجهَ تبسيطٍ أكثرَ إذهالًا حتى في معادلات ماكسويل. كانت المعادلات تتنبأ بأن المجال الواقع حول جسمٍ مشحون كهربيًّا يتذبذب في الفضاء سيولِّد تذبذبًا في المجال الكهرومغناطيسي المحيط والذي سيشعُّ بعيدًا عن الجسم بسرعة نحو ٣٠٠ مليون متر في الثانية. عرف ماكسويل تلك السرعة. كانت هي سرعة الضوء في الفراغ. فكان استنتاجه المذهل أن الضوء هو تموُّجات في المجال الكهرومغناطيسي يتولَّد بفعل شحنات متذبذبة داخل المادة، والتي نعرف اليوم أنها الإلكترونات.[١] لم يستوعب التوحيدُ الذي قام به ماكسويل الكهرباءَ

والجذبَ المغناطيسي فحسب، بل أيضًا الضوء الذي ينير الكون. كان الضوء أحدَ أوجه القوة الكهرومغناطيسية.

بين فترات استعراض طلبات الحصول على براءات الاختراع في مكتب مدينة برن، تأمَّل أينشتاين العلاقةَ بين الضوء والكهرباء. إذ كانا كلاهما من قضايا الساعة. بحلول ذلك الوقت، كانت الثورة الصناعية قد تحوَّلت من البخار إلى القوة الكهربية وأسَّس هيرمان والدُ أينشتاين مع أخيه جاكوب شركةَ أينشتاين آند سي، وهي شركة هندسة كهربائية تعمل في ميونخ. كان مكتب أينشتاين بحلول ذلك الوقت مُضاءً بمصابيحَ كهربائية، والتي سوَّق لها تجاريًّا إديسون وسوان قبل عَقدين فقط من وقتها. كان عدد كبير من الاختراعات المقدَّمة لمكتب مدينة برن عبارة عن آلات كهربائية. وكان السؤال الذي فكَّر أينشتاين فيه بينما يفحص طلبات براءات الاختراع هو: ما القيمة التي ينبغي له أن يستخدمها لسرعة الضوء إذا كان سيصمِّم آلةً كهربائية مبنية على معادلات ماكسويل؟

تذكَّر سفينةَ جاليليو التي قد تكون الطيور أو الأسماك أو البحارة في المقصورة الرئيسية فيها غيرَ مدركين أنهم يتحرَّكون. لو أنهم كانوا يحملون آلةً كهربائية على متن تلك السفينة، فهل سيستخدمون سرعةَ الضوء بالنسبة إلى جدران المقصورة حين يحسبون كيف تعمل، أم إنهم سيستخدمون سرعةَ الضوء بالنسبة إلى الشاطئ الذي يتباعد عن السفينة؟ إن كانت سرعة الضوء نسبية — كأي سرعة أخرى — فإن قوانين الفيزياء ستختلف باختلاف الراصدين اعتمادًا على الطريقة التي يتحرَّكون بها. وقد وجد أينشتاين هذه الفكرة مزعجة.

إعادة بناء الفيزياء من القاعدة إلى القمة

فكَّك ويليام الأوكامي الفلسفةَ المدرسية العصرأوسطية — وعلومها اللاهوتية — محتفِظًا بأبسط مبادئها، وهو أن الرب مطلق القدرة، ثم فحص تبِعات ذلك. وبعد ذلك بقرون، فكَّك رينيه ديكارت الفلسفةَ الغربية ثم أعاد بناءها انطلاقًا من قناعته البسيطة بأننا لا يمكن لنا أن نعرف شيئًا على وجه اليقين سوى الفرضية التالية: «أنا أفكِّر إذن أنا موجود». وقد اتخذ أينشتاين منهجًا مشابهًا تجاه علم الفيزياء. إذ كان مقتنِعًا بالفاعلية العمومية لقوانين ماكسويل، ورأى أنه — لكي يجعل تلك القوانين عمومية — ينبغي أن تكون سرعةُ الضوء متساوية لكل الراصدين الذين يتحرَّكون بشكل موحَّد.[٢] وقد شدَّد أينشتاين على أن الضوء — على عكس كل شيء آخر في الكون — لا يمكن أن ينصاع لنسبية جاليليو.

قد يبدو هذا بيانًا بسيطًا، إلا أن نتائجه صادمة. لكي نكتسب فكرةً عن مدى غرابة ذلك، سنُجري ما أطلق عليه أينشتاين تجربةً ذهنية، وذلك بتخيُّل أن موجات البحر تتصرف كموجات الضوء. سنتخيَّل أيضًا أنك على وشْك الصعود على متن قارب سريع راسٍ إلى مرفأ عند الجهة الغربية من ميناء سان ماركو بالبندقية، والذي لا يبعُد كثيرًا عن مدينة بادوفا التي توجد بها الجامعة التي عمل بها جاليليو. هناك يصدف أن أمواج البحر تتدفَّق بصورة موازية للساحل من جهة الشرق إلى جهة الغرب على طول مقدمة القارب، والسبب في ذلك يُعزى إلى تيارٍ عجيب في البحر الأدرياتيكي.

وفيما تقف أنت وصديقتك — والتي تُدعى أليس — على المرفأ في سان ماركو، تلاحظ أن الأمواجَ تتحرَّك على طول قاربك مستغرقةً ثانيتين لتقطع المسافةَ من مؤخِّرة القارب إلى مقدِّمته. وأنت تعلم أن طول قاربك يبلغ ١٠ أمتار، ومِن ثَمَّ يمكنك بسهولة حسابُ سرعة الأمواج والتي ستبلغ ٥ أمتار في الثانية. سيكون هذا هو المكافئ المائي لسرعة الضوء التي ينبغي أن تكون متماثلة لدى كل الراصدين. تصعد على متن قاربك، وكما فعل جاليليو تأخذ معك قفصَ طيور به مجموعةُ طيور درَّة ترفرف بأجنحتها، وحوض سمك تسبح به بضع سمكات ذهبيات، لكنك ستصحب أيضًا كلبًا صغيرًا يُدعى باد، وقد سُمِّي تيمنًا بجامعة جاليليو المفضَّلة.

يجد باد متعةً في الجري على طول سطح القارب، بحيث يساير الأمواجَ سرعة. باد كلبٌ صغير في غاية الروعة ويمكنه أن يساير الأمواجَ السريعة التدفُّق بحيث يستغرق ثانيتين فقط ليقطع المسافةَ من مقدمة القارب إلى مؤخرته. وأيضًا تقيس أليس — التي تشاهد من الشاطئ — سرعةَ باد في الجري التي تكون ثانيتين. تلوِّح وداعًا لأليس، وتدير محرِّك القارب وتضبط سرعته على سرعةٍ ثابتة بمعدَّل مترين في الثانية، فتخرج من الميناء في الاتجاه نفسه الذي تسلكه الأمواج. تسمع هدير المحرِّك وترى رذاذ الماء يتطاير من مؤخِّرة القارب. وحين تصل إلى سرعة ثابتة، تتفقَّد حديقةَ حيوانك وتتأكَّد — كما توقَّع العالِم الإيطالي العظيم — من أن الطيور تطير والأسماك تسبح غيرَ مبالية بحركة القارب بالنسبة إلى الشاطئ. وكما شدَّد جاليليو، تكون حركة الحيوانات بالنسبة إلى القارب هي كل ما يُهم. فالسرعة نسبية.

بتحرُّكك بسرعة مترين في الثانية في الاتجاه نفسه الذي تتحرَّك به الأمواج، ستتنبأ أن السرعة النسبية للأمواج على طول مقدِّمة قاربك ستكون ٣ أمتار في الثانية (٥ ناقص ٢). ينبغي لباد أن يكون أقلَّ شعورًا بالإرهاق كثيرًا في لعبة مسايرة تلك الأمواج. إلا أنك

حين تسمح له بالانطلاق نحو مؤخِّرة القارب، يتعيَّن عليه ثانية أن يَجري بأقصى سرعة ليصل إلى مقدمة القارب مع الأمواج. فهل أبطأ باد من سرعته؟ ولكي تريحه، تدفع بعصا السرعة إلى الأمام حتى تصل إلى سرعة ٤ أمتار في الثانية. بهذه السرعة، حين تكون كدت تساير سرعة الأمواج، تتوقَّع أن تساوي السرعة النسبية للأمواج عند مقدمة القارب مترًا واحدًا فقط في الثانية. ينبغي لوتيرة سيرِ باد أن تكون مسايرةً لسرعة الأمواج الآن. إلا أنه لا يزال يكافح من أجل أن يساير تلك الأمواج السريعة التي تستمر في قطع المسافة من مقدمة القارب إلى مؤخِّرته بسرعة ٥ أمتار في الثانية. تنظر إلى الشاطئ متحيرًا ويمكنك أن ترى برجَ جرس ميناء سان ماركو يتلاشى خلفك تمامًا كما توقَّعت. لكن من منظورك أنت في مقابل الأمواج، أنت ثابت تمامًا، تمامًا كما كنت في المرفأ، وسان ماركو تتلاشى مبتعدةً عنك بسرعة ٤ أمتار في الثانية. فتدفع من تحرُّك عصَا السرعةِ إلى الأمام لتصل إلى سرعتك القصوى وهي ٥ أمتار في الثانية، وهي نفس سرعة الأمواج. ينبغي لك الآن أن تكون مسايرًا لتلك الأمواج المنتظِمة. لكن لا يزال يتعيَّن على باد أن يَجري بأقصى سرعته ليسايرها؛ حيث إنها تعاند فتمرُّ على مقدمة قاربك بسرعة ٥ أمتار في الثانية. وبمجرد أن تخرج إلى البحر، بعيدًا عن أي أرضٍ تلوح في الأفق، يمكنك أن تدفع بعصا سرعتِك بقدرِ ما يمكنك؛ إذ إن ذلك لا يشكِّل فارقًا بالنسبة إلى تقدُّمك عبْر الأمواج. وطبقًا لهدير المحرِّك والرذاذ المتطاير من مؤخِّرة قاربك، أنت تنطلق بسرعتك القصوى، إلا أنك ثابت تمامًا، وذلك من منظور حركتك في مقابل حركة الأمواج، وكأنك تقطَّعت بك السبل في بحرٍ رتيب تستمر أمواجُه في التحرُّك على مقدمة القارب بسرعة ٥ أمتار في الثانية. حركة هذه الأمواج المشابهة للضوء ترفض بكل عنادٍ أن تنصاع إلى نسبيةِ جاليليو.

والموقف أكثرُ غرابة حتى من على الشاطئ. فقد أحضرت أليس نسخةً طبْقَ الأصل من أقوى تلسكوبات جاليليو بحيث يتسنَّى لها مراقبة تقدُّمك من المرفأ. ترى أليس باد وهو يُهرع على سطح المركب، لكنها تلاحظ شيئًا مثيرًا للفضول. فبينما يتسارع قاربك من ٠ إلى ٢ ثم إلى ٤ أمتار في الثانية، يبدو ما يحققه باد من تقدُّم بالجري على سطح المركب أنه يصبح بطيئًا. فبدلًا من أن يستغرق ثانيتين فقط من أجل أن يسابق الأمواجَ على سطح القارب، يستغرق الآن ما يقارب ٤ ثوانٍ، ويبدو كما لو أنه يجري بحركة بطيئة. وحين يصل قاربك إلى أقصى سرعته وهي ٥ أمتار في الثانية، تبدو أنت وباد كلاكما ثابتين، وكأنكما جامدان في لحظةٍ من الزمن. فما الذي يحدث؟

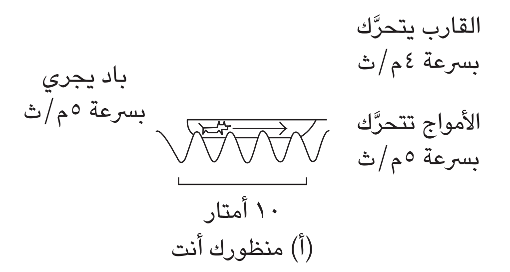
الإجابة هي أن الأمواج في تجربتنا الذهنية تتصرَّف الآن وكأنها موجات ضوء لها نفس السرعة في عين كل الراصدين لها. وحيث إن هرولة باد على طول سطح المركب

تساير تلك الأمواج، إذن يمكنك أنت على سطح المركب ويمكن كذلك لأليس وهي تقف على المرفأ أن تستخدما حركةَ الكلب لقياس سرعة الضوء، وينبغي لكما أن تجدا الإجابةَ واحدةً، وذلك من أجل أن تكون معادلات ماكسويل متماثلة لديكما. لم يكن هذا يمثِّل مشكلة على الشاطئ، لكن بمجرد أن تكون هناك حركة نسبية بينكما، يتغيَّر كل شيء.

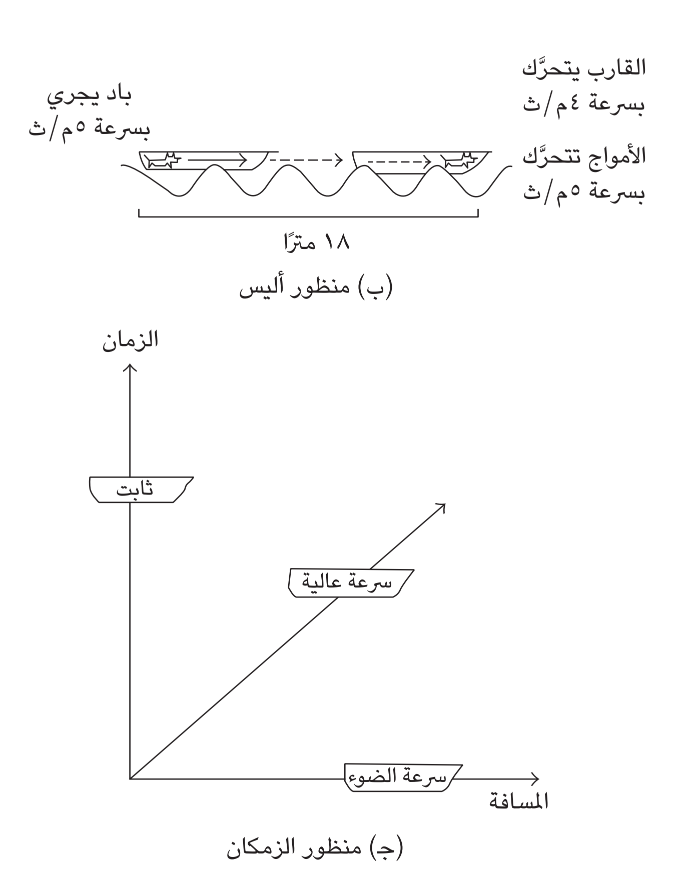
انظر إلى حين تنطلق مبتعِدًا عن أليس بسرعة ٤ أمتار في الثانية. من منظورك (أ، في الشكل ١٦-١)، لم يتغيَّر شيء من الموقف حين كان القارب راسيًا على المرفأ. إذ يقطع باد مسافةَ الأمتار العشرة على طول سطح القارب بسرعة مساوية لسرعة الضوء وهي ٥ أمتار في الثانية، فيستغرق ثانيتين ليصل إلى مقدِّمة القارب. لكن من منظور أليس (ب، في الشكل ١٦-١)، تُصبح المسافة التي قطعها باد الآن لها مكوِّنان. أولًا يجري باد مسافة ١٠ أمتار بطول سطح القارب. لكن في ذلك الوقت، يكون القارب هو نفسه قد قطع أيضًا مسافة ٨ أمتار مبتعدًا عن المرفأ. من منظور أليس يكون باد قد قطع مسافة هي مجموع ١٠ و٨ أمتار، أي ١٨ مترًا. إن كانت أليس في نفس النطاق الزمني الذي أنت فيه، فإن باد سيكون قد قطع تلك الأمتارَ الثمانية عشر في ثانيتين فقط بسرعة ٩ أمتار في الثانية، ومِن ثَمَّ يكون أسرعَ من الشيء القائم بمقام سرعة الضوء. ومراعاة لتشديد أينشتاين على أن سرعة الضوء متماثلة في عيون جميع راصديها، ينبغي لشيء أن يتنازل. ولا يمكن أن يكون هذا سوى الزمن.

حيث إن باد يساير سرعةَ الضوء، إذن ينبغي له — من منظور أليس — أن يستغرق ٣٫٦ ثوانٍ (١٨ مقسومة على ٥) ليقطع مسافة ١٨ مترًا كاملة، وهي المسافة من مؤخرة القارب إلى مقدمته. فالحدث الذي استغرق ثانيتين فقط — من منظورك — ينبغي له أن يستغرق ٣٫٦ ثوانٍ عند أليس. أنتما الآن تعايشان الحدثَ نفسه، لكن من إطارين زمنيِّين مختلفَين. وحين تنطلق أنت بأقصى سرعة للضوء، فإن الزمن عندك — من الإطار الذي تشاهد منه أليس — يظل ثابتًا.

حلَّ أينشتاين هذه المعضلةَ في نظريته عن «النسبية الخاصة» بأن شدَّد على أن الزمان والمكان تجمعهما علاقةٌ تبادلية. يُصبح الزمان والمكان — بالأحرى على نحوٍ أشبه بالكهرباء والجذب المغناطيسي — مكوِّنين لكيان واحد أطلق عليه أينشتاين «الزمكان». إحدى طرائق النظر إلى هذا هو اختزال أبعاد المكان الثلاثة إلى بُعد أفقي واحد، ويكون الزمان بُعدًا زمنيًّا رأسيًّا (ج، في الشكل ١٦-١). وحين تكون أنت وأليس ثابتين — أحدكما



(أ) منظورك أنت



(جـ) منظور الزمكان

شكل ١٦-١: النسبية الخاصة على متن قارب.

بالنسبة إلى الآخر — فإنكما تتحرَّكان بسرعة الضوء عبْر بُعد الزمان، لكن سرعتكما عبْر بُعد المكان تكون صفرًا. وبينما تزداد سرعتكما النسبية، ينبغي لسرعتيكما عبْر الزمكان أن تظلَّ دائمًا مساويةً لسرعة الضوء (طول السهم في الشكل ج). ولكي تزيد من سرعتك عبْر المكان، ينبغي لك أن تتحرَّك بسرعة أبطأ عبْر الزمان. وإن تمكَّنت من زيادة السرعة لتصل إلى سرعة الضوء،[٣] يمكنك إذن أن تسافر حول الكون في زمنٍ لا يُذكر؛ حيث سيكون ما تحرِزه من تقدُّم عبْر بُعد الزمان هو صفر. هذا التكافؤ بين الزمان والمكان ضِمن الزمكان يقع من نظرية النسبية الخاصة محلَّ القلب. إذ أصبح كيانان مختلِفان تمامًا أحدهما عن الآخر عنصرين مكوِّنين لكيان واحد. وهكذا، يكون قد أصبح العالَم مرة أخرى أبسطَ بمقدار درجة، وإن كان أكثرَ غرابة.

ينبغي لي أن أؤكِّد أنه لا يوجد سببٌ يجعل سرعةَ الضوء تتصرف بهذه الطريقة بعينها؛ أي أن تكون متماثلة في عيون كل الراصدين لها. إذ ليس هناك من قانونٍ أعمقَ يتنبأ بها. عوضًا عن ذلك، هي إحدى اللبنات التي بُني بها كوننا وثابت أساسي نرصد قيمته ولا نتوقَّعها. إلا أن سرعة الضوء لو انصاعت إلى نسبية جاليليو، فإن قوانين الفيزياء — كما أدرك أينشتاين — ستكون مختلِفة بالفعل باختلاف الراصدين لها، ما يخلق كونًا سيكون أعقدَ بكثير من كوننا. إن ثبات سرعة الضوء الغريب جدًّا هذا هو ما يجعل كوننا يحافظ على بساطته.

كانت ورقة أينشتاين البحثية عن النسبية الخاصة واحدةً من بين أربعٍ نشرها في أعظم أعوام عمره، وهو عام ١٩٠٥. وقد رسَّخت تلك الأوراق البحثيةُ لشهرته كأحد أعظم الفيزيائيِّين في عصره، وجعلته يستحق عدةَ عروض للعمل؛ الأمر الذي حمله على تركِ مكتب مدينة برن لتسجيل براءات الاختراع لشغل عدة مناصب متتابعة في جامعات برن وزيوريخ وبراغ وجامعة هومبولت ببرلين. لكن وخلال نحو السنوات العشرين التي تلت ذلك، كانت هناك مشكلتان في النسبية الخاصة تقضَّان مضجعه: النظرية فشلت حين تعلَّق الأمر بالأجسام المتسارعة أو الأجسام الخاضعة للجاذبية. أيضًا، وجد أينشتاين، مثلنا (ارجع إلى الفصل الحادي عشر)، أنه من الغريب حين نستخدم قوانين نيوتن لحساب تسارع الجاذبية الذي يعايشه جسمٌ ساقط أن علينا أن نضرب أولًا في كتلة ذلك الجسم ثم نعود ونقسم على تلك الكتلة نفسها.

شفرة أينشتاين

الطبيعة هي تجسيد لأبسط الأفكار الرياضية الممكنة.

ألبرت أينشتاين، ١٩٣٣[3]

طوال عَقد من الزمن، عانى أينشتاين من أجل تضمين التسارع والجاذبية في نظريته عن النسبية. كان هناك عالِم فيزياء ألماني آخرُ يبحث في ذلك، وهو ماكس أبراهام، إلا أن أينشتاين كان يزدري منهج أبراهام القائم على البحث عن أبسط الحلول أو أجملها؛ إذ كتب يقول: «خُدعت تمامًا بجمال معادلاته [يقصد أبراهام] وبساطتها». وذهب أينشتاين إلى إلقاء لائمة فشله على «ما يحدث حين يعمل المرء بالاعتماد على الناحية الشكلية [أي البحث عن حلول رياضية جميلة] من دون التفكير بصورة مادية».

كان منهج أينشتاين يقوم على إنشاء معادلاتٍ تتسق مع أكبر قدرٍ ممكن من الملاحظات، بغض النظر عن مدى التعقيد الذي تُصبح عليه. ولم يكن يتحقَّق حتى من أن المعادلات التي أنشأها سليمة رياضيًّا إلا لاحقًا. أخذ يشق طريقه عبْر المعادلات المعقَّدة واحدةً تلو الأخرى، وفي كل مرة حين يصل إلى مرحلةِ التحقُّق من صحة نظريته رياضيًّا كانت المعادلات تخفق مرةً بعد أخرى.

في تلك المرحلة من مسيرته، كان أينشتاين يتجنَّب شفرة أوكام في صالح ما يُسمى بـ «الشمول»: أي تضمين القدر الأكبر من المعلومات المتاحة في نموذجٍ ما. قد تتذكَّر أن هذه هي المسألة نفسها التي كانت أساسَ السِّجال بيني وهانس ويسترهوف حول دور شفرة أوكام في علم الأحياء. إذ دافع هانس عن مبدأ الشمول، مثل أينشتاين في هذه المرحلة من عمله. لكن وبينما تزداد النماذج تعقيدًا، يزداد كذلك عددُ البدائل بصورةٍ أسِّية: انظر كم عدد الأشكال التي يمكنك عملها بستة أو ستين أو ستمائة من مكعبات لعبة الليجو. بعد سنوات عديدة من البحث غير المثمر عبْر الفضاء الفسيح للنماذج الممكنة، غيَّر أينشتاين في نهاية المطاف مسلكَه بتبنيه للمنهج الذي استغرق في استنكار اتباع أبراهام له، وهو منهج العمل أولًا «بالاعتماد على الناحية الشكلية من دون التفكير بصورة مادية». اعتنق أينشتاين شفرة أوكام من حيث قبول المعادلات الأبسط والأجمل فقط، ولم يختبرها بالمقارنة مع الحقائق المادية إلا لاحقًا. وقد نال مرادَه هذه المرة. ففي عام ١٩١٥، أتى «بنظرية لا مثيل لجمالها»، فكانت نظريته العامة عن النسبية.

كانت الفكرة التي أدَّت إلى ظهور نظرية النسبية العامة هي إدراك أينشتاين أنه لا سبيل إلى التفريق بين الجاذبية والتسارع. وتكافؤهما — الذي يُعرف الآن باسم «مبدأ التكافؤ» — هو شيء نصبح مدركين له متى، على سبيل المثال، أقلعنا بطائرة وشعرنا بتحوُّل ثِقَل وزننا من المؤخرة إلى الظهر. وقد أدرك أينشتاين أن إحساسنا بالجاذبية والتسارع متماثل في كليهما؛ لأنهما نفسيهما متماثلان، ومِن ثَمَّ فإننا يجب أن نصفهما بمجموعة واحدة من المعادلات. هذا التبصُّر ألهم أينشتاين نظريتَه عن النسبية العامة وتوصيفها الشائع الآن لالتواء الزمكان بفعل الأجسام الهائلة الحجم كالكواكب والنجوم. أصبحت الجاذبية تسارعًا ظاهرًا كما نشعر به أثناء التحرُّك في شكل بيضاوي أو في شكل قطع مكافئ في المكان، لكن أيضًا كخط مستقيم في الزمكان. وباعتبار الجاذبية شيئًا يتميَّز عن معالم الزمكان، فقد أصبحت كيانًا فائضًا عن الحاجة وأصبح الكون أبسطَ بمقدار درجة أخرى.

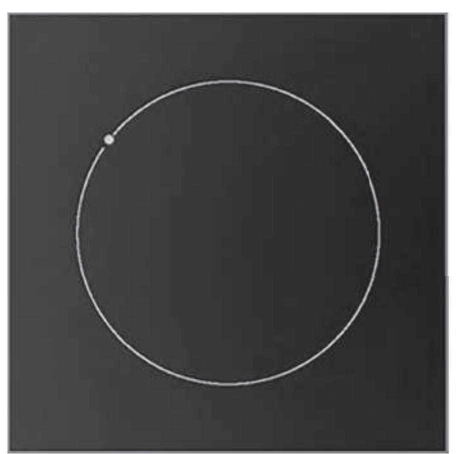
كما أشار أينشتاين أيضًا إلى أن مفهومه الجديد عن الجاذبية حلَّ لغزَ سببِ دخول الكتلة إلى معادلة نيوتن فقط لنستبعدها فيما بعدُ حين يتعلَّق الأمر بحساب التسارع الناجم عن الجاذبية. ففي نظرية أينشتاين عن النسبية العامة، الجاذبية هي تسارُع سببُه التواء الزمكان، عوضًا عن كونها قوة. ومِن ثَمَّ فإن كتلة جسمٍ ساقط لا تدخل إلى حسبة معدَّل سقوطه. وفي النظرية العامة، تُعَد الجاذبية بالتالي «قوة خيالية» وليست إحدى قوى نيوتن.

نجاح النظرية العامة دفع أينشتاين إلى تبنِّي رأي معاكس عن رأيه حول البساطة والجمال، وأصبح من بعدها يشدِّد دائمًا على أن البحث عن البساطة الرياضية شيء أساسي. فنصح قائلًا: «يمكن اختبار النظرية بالتجريب، لكن لا سبيلَ إلى البدء به من أجل إنشاء نظرية». أينشتاين هنا يبيِّن في الأساس المشكلةَ العكسية، وهي أنه من السهل الانتقال من نظام (معادلة) بسيطة إلى حساب مخرجاتها المعقَّدة، لكن من المستحيل في غالب الأحيان فِعْل العكس. وذهب أينشتاين إلى الدفع بأن «المعادلات بهذا القدرِ من التعقيد ... لا يمكن أن نصل إليها إلا من خلال اكتشاف شرط رياضي بسيط منطقيًّا يحسم أمرَ المعادلات بصورة تامة أو شبه تامة».[4] ومنذ ذلك الحين وصاعدًا، دائمًا ما كان أينشتاين يضع ثقتَه في البساطة متعظًا بتجربته.

أكان بطليموس محقًّا في نهاية المطاف؟

قبلَ أن نترك نظريةَ النسبية، سنعيد زيارةَ صديقنا الإسكندري بطليموس لنلقي نظرةً أخرى على نظامه البارز القائم على فكرة مركزية الأرض، والمعتمدِ على أفلاك التدوير والنقاط اللامركزية ونقاط معدَّل المسار. كما أشرنا بالفعل، كان هذا النظام يعمل بصورة رائعة على نحوٍ مثير للدهشة رغم ما كان يحويه من أوجهِ تعقيد مفرطة؛ الأمر الذي يعود بنا إلى السؤال الذي واجهناه عدةَ مرات في نماذج بطليموس وكوبرنيكوس أو في نظرية الفلوجيستون، وهو: كيف يمكن لنموذج خاطئ أن يُنتِج هذا القدر من الصواب؟





شكل ١٦-٢: المنظور الشمسي المركز (إلى اليمين) في مقابل المنظور الأرضي المركز (إلى اليسار) لمدار كوكب الزهرة على مدى فترةٍ قدرُها اثنان وثلاثون عامًا. توجد الشمس في مركز المدار الشمسي المركز ومدارها هو الدائرة الكاملة في الصورة التي على اليمين. والأرض هي مركز المدار الأرضي المركز.

الإجابة هي أن بطليموس لم يكن مخطئًا؛ بل كان يزيد من التعقيد فحسب. في النسبية العامة، من الجائز تمامًا أن تجعل من أي نقطة في الكون مركزَ نظامك وتقوم بحساباتك بناءً على ذلك. لكن بعض النقاط تكون أكثرَ تعقيدًا من غيرها. وباعتبار أن الشمس هي الجسم الأكثر ضخامة إلى حدٍّ كبير في نظامنا الشمسي، فإن تأثيرها يفوق كل تأثيرات الجاذبية الأخرى. ووضعها في مركز النظام يكافئ الانتقالَ من الشاطئ إلى

متن سفينة جاليليو الخيالية لتبسيط الحركات الملحوظة لكل الأشياء على متنها. من الجائز تمامًا العودةُ مجازيًّا إلى الشاطئ بوضع الأرض في مركز نظامك، لكنك بحاجة لأن ترسم دوائرَ أكثرَ بكثير (انظر الشكل ١٦-٢). لم يكن بطليموس مخطئًا، ومن الإشادة بعبقريته أنه تمكَّن من إنشاء نظام يعمل بصورة رائعة، لكنه زاد من تعقيد الأمور وأدَّى تطبيق شفرة أوكام إلى حلول أبسط.

إن قدرًا كبيرًا من علم الفيزياء — وكذا من العلوم بالطبع — يشمل إيجاد المنظور الصحيح لجعل العالَم أكثرَ بساطة. وقد حقَّقت النسبية الخاصة ذلك من خلال توحيد الزمان والمكان بهدف إنهاء أولى غمامتَي اللورد كلفن. كما أدَّى تغييرٌ آخر للمنظور إلى إنهاء الغمامة الثانية، ما كشف عن كون أبسطَ وإن كان أكثر غرابة.

هوامش

(١) نعرف الآن أن الشحنات المتذبذبة التي تولِّد الضوء هي الإلكترونات التي تقفز بين المدارات الذريَّة.

(٢) تستبعد نظرية أينشتاين الأولى عن النسبية الأجسام المتسارعة، وهذا ما جعلها «خاصة».

(٣) هذا مستحيل في واقع الأمر؛ حيث إن النسبية الخاصة تحول دون تسارع أي جسم له كتلة بحيث يصل إلى سرعة الضوء.

الفصل السابع عشر

كمٌّ من البساطة

... الإنسان كمٌّ ...

ويليام الأوكامي، حوالي ١٣٢٠[1]

في العام ١٨٧٤، زار جامعةَ ميونخ طالبٌ يبلغ من العمر عشرين عامًا يُدعى ماكس بلانك (١٨٥٨–١٩٤٧) ليبحث أمرَ احتمالية حصوله على وظيفةٍ في مجال الفيزياء. وقد نصحه الأستاذ الجامعي فيليب فون جولي (١٨٠٩–١٨٨٤) بعكس ذلك، حيث قال بأنه لا يوجد شيء جديد ليُكتشَف في ذلك المجال، وبأن عليه اختيار مجالٍ آخر. انضم بلانك إلى الجامعة غيرَ عابئ بذلك، وفي العام ١٨٧٧، انتقل إلى برلين ليدرُس للحصول على درجة الدكتوراه في جامعة فريدريش فيلهيلم؛ حيث أصبح مهتمًّا بمجال الديناميكا الحرارية. وبعد تعيينه أستاذًا للفيزياء النظرية في الديناميكا الحرارية بجامعة برلين في العام ١٩٠٠، قرَّر بلانك التعاطي مع إحدى غمامتَي كلفن — والتي تتعلَّق بإخفاق نظرية الديناميكا الحرارية في تفسير طيف الضوء المنبعث من الذرات بداخل الأجسام السوداء. اكتشف بلانك معادلةً تتنبأ بصورةٍ صحيحة بالطيف الملحوظ، إلا أن آثار تلك المعادلة كانت مدهشة. ترتكز الديناميكا الحرارية على مبدأ أن الذرات تتحرَّك بصورةٍ عشوائية في نطاق من السرعات بحيث ينبغي لها حين تبطئ من سرعتها أن تبعث بالضوء في نطاقٍ مستمر من الترددات. إلا أن معادلة بلانك دلَّت ضمنيًّا على أن طاقة الضوء المنبعثة من الأجسام السوداء تنبعث عوضًا عن ذلك في شكل حِزَمٍ دقيقة من الطاقة بتردُّدات منفصلة. وقد سمَّى بلانك حِزَم الطاقة تلك بمصطلح «الكموم» quanta من الكلمة اللاتينية التي تعني مقدارًا أو كمًّا.

مرة أخرى، هناك الكثير من الكتب الرائعة التي تناولت ميكانيكا الكم، ومن المستحيل تقديرُ حجر أساس فيزياء القرن العشرين هذا حقَّ قدره في غضون بضع صفحات فقط. لذا سأركِّز مرةً أخرى على تلك الجوانب من ميكانيكا الكم التي تبرز دورَ البساطة، وأفضل ما نبدأ به هو تناول هذا المبحث الغريب من العلم من منظور رفيق شفرة أوكام، وهو المذهب الاسماني. ستتذكَّر أن المبدأ الأساسي في مذهب الأوكامي الاسماني هو أن المفاهيم المجرَّدة — كالأبوة — موجودةٌ فقط في صورة كلمات أو أفكار في عقولنا، وأنها لا توجد كأشياء حقيقية في العالم المادي. لهذا السبب، شدَّد الأوكامي على حتمية استبعادها من الفلسفة والعلوم.

لكن ما هو الحقيقي وما هو المجرَّد في العلم؟ لقد ناقشنا بالفعل كيف أن المفاهيم — كمفهوم الحركة مثلًا — تكون نسبية، كأن يكون أحدُ الأجسام الذي يتحرَّك ضمن إطارٍ ما ثابتًا في إطار آخر. على هذا الأساس، أكَّد الأوكامي أن الحركة — أو القوة الدافعة — لا يمكن أن تكون «شيئًا». وبالمثل، حتى الجاذبية نفسها هي قوة خيالية في النسبية العامة. إذن ما هو الحقيقي؟

هبْ أنك تقف على حافةِ حلبة تزحلق على الجليد وترغب في أن تقيس على وجهِ الدقة موقعَ صديقتك المتزلجة، أليس، والتي تقف ثابتة على الجليد. ولكي نزيد من صعوبة هذه المهمة، أُطفِئت الأضواء كلها بحيث لا يمكنك رؤيتها. لحسن الحظ، أحضرت معك حقيبةً بها كرات نطَّاطة مضيئة. ولكي تحدِّد موقعَ أليس، تلقي بالكرات عشوائيًّا في الظلام. تطير معظم هذه الكرات دون عائق عبْر الحلبة، لكنك لا تتمكَّن من إعادة التقاط سوى القليل منها حين ترتد، بعد أن تصطدم بأليس كما هو مفترض. تلاحظ أنت موضعَ إلقائك والتقاطك للكرات واتجاهه، وبتطبيق مبدأ التثليث، يمكنك تحديدُ موقع أليس بدقة في الظلام.

لكن وكما أكَّد نيوتن، فإن لكل فعلٍ ردَّ فعلٍ مساوٍ له في المقدار ومضاد في الاتجاه. حين تصطدم الكرة بأليس، فإن مقدارًا (كمًّا) من الزخم سينتقل إلى جسدها فيتسبَّب في دفعِها للخلف. وموضعها بعد القياس لن يكون مماثلًا كما كان قبله. حلُّ هذه المعضلة في العالَم العياني واضح، وهو أنك ببساطة تضيء الأضواء لتحدِّد مكانَ أليس بدقة.

لكن عالِم الفيزياء الألماني فيرنر هايزنبرج (١٩٠١–١٩٧٦) أدرك أن أليس إن كانت جُسيمًا أوليًّا — كأن تكون إلكترونًا مثلًا — فإن حتى أبسط لمسة من خلال جسيم من الضوء — أو الفوتون — ستنتج دائمًا قدرًا صغيرًا من الزخم، ومِن ثَم ستغيِّر موقعَها.[١]

أدَّى إدراك هذا بهايزنبرج إلى صياغةِ مبدئه الشهير عن عدم اليقين والذي يشدِّد على أن عدم اليقين في الزخم الذي يكتسبه الجسيم مضروبًا في عدم اليقين فيما يتعلَّق بموقعه سيكون دائمًا أكبرَ من أو يساوي نصفَ قيمةِ ثابت أوَّلي آخر من ثوابت الطبيعة (كسرعة الضوء)، والذي يُعرف باسم ثابت بلانك. لهذا الثابت قيمة غاية في الضآلة[٢] ويمكن تجاهله بالنسبة إلى الأشياء التي تُرى بالعين المجردة، كالمتزلجين على الجليد، لكنه يضع حدًّا أساسيًّا لوجه الدقة الذي يمكن لنا من خلاله أن نعرف العالَم العياني.

يمكنك أن تتخيَّل بالطبع — رغم افتقارك إلى معرفة ذلك — أن الموقع الدقيق لإلكترون هو موقعٌ حقيقي كما هو موقع أليس في الظلام. لكن وعلى عكس العالم العياني، ليس هناك مكافئ ممكن لـ «إضاءة الأضواء» في العالم الكمي؛ حيث إن الضوء يتكوَّن من فوتونات، وستؤثِّر هذه الفوتونات على أي شيء نريد قياسه. هذا الأمر يثير سؤالًا مشابهًا لذلك الذي طرحه ويليام الأوكامي حول حقيقة المُثل عند أفلاطون أو الكليَّات عند أرسطو، أو حول مفهوم الحركة نفسه: ما مدى حقيقة الموضع الدقيق أو الزخم إن لم يكن بإمكاننا قياسُه أبدًا؟

ينبغي للأشياء الحقيقية أن تكون ذات تأثيرٍ على العالَم المادي. ينبغي لهذا أن يكون حدَّنا الأدنى على الأقل في تعريفِ ما هو حقيقي. فالأشياء غير الحقيقية — كالمُثل أو الكليَّات أو الأشباح أو الشياطين — ليس لها تأثير. بهذه الطريقة نعرف أنها أشياءُ موجودة في الأذهان — عوضًا عن كونها مادية — أو «مفاهيم» كما كان أوكام ليصفها. وإن لم يؤثِّر الموقعُ الدقيق للجسيم على العالَم المادي (إن فعل فسيمكن قياسه) فإن ويليام الأوكامي كان سيشدِّد على أنه ليس حقيقيًّا أكثرَ من المثلث الأفلاطوني، أو جوهر «الأبوة» أو «الروح العارفة» عند هنري مور. ومن المنظور الاسماني لدى ويليام الأوكامي، فإن «الموقع الدقيق» هو فقط الاسم الذي نعطيه لشيء مجرَّد يوجد في أذهاننا ونماذجنا؛ شيء خيالي لا يتوافق مع أي شيء في العالَم المادي. مِن ثَمَّ فإنه كيان يفوق الضرورة وينبغي استبعاده من العلم.

ميكانيكا الكمِّ تفعل هذا بالتحديد. فالفروق بين حالات الطاقة المختلفة التي تكون أصغرَ كثيرًا من أن يمكن قياسها لا تعتبر حقيقيةً ببساطة. هكذا لا يمكن أن تنبعث الطاقةُ إلا في شكل حزمٍ ضئيلة يختلف بعضها عن بعض بشكلٍ يمكن قياسه: وهي الكموم. وبالمثل، في حين تسمح الديناميكا الحرارية للجسيمات بالاهتزاز في نطاقٍ مستمر من الترددات، تشدِّد ميكانيكا الكم على أن الترددُّات القابلة للقياس فحسب هي المسموح

بها. هذا «التكميم» هو ما يؤدي إلى السمات الخاصة لإشعاع الأجسام السوداء ومعادلة بلانك.

إلا أن غرابة ميكانيكا الكم ليست مقتصرةً على تكميم الطاقة. فأوجه عدم اليقين على المستوى الكمي تتجسَّد في شكل خصائص معقَّدة للجسيمات التي توجد في عدةِ أماكنَ في الوقت نفسه، أو تنتقل عبْر حواجز منيعة على نحوٍ كلاسيكي أو تدور في اتجاهين مختلفَين في الوقت نفسه، ببساطة لأنه من غير الممكن إثبات أنها لا تفعل ذلك. بالمثل، قد تحظى الجسيمات بارتباطاتٍ شبحية تمتد عبْر الزمان والمكان، فقط لأن مبدأ عدم اليقين لدى هايزنبرج يخبرنا بأننا لا نستطيع إثباتَ أنها لا تحظى بمثل هذه الارتباطات.

خيرُ الأدلة على النجاح يكمُن — كالعادة — في المنفعةِ التي يحقِّقها الشيء. وقد قدَّمت ميكانيكا الكم بعضَ أدق التنبؤات في تاريخ العلم بأسرِه، بالإضافة إلى إدخال تقنيات جديدة بدءًا من الليزر إلى رقائق الكمبيوتر أو نظام تحديد المواقع أو أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي أو الهواتف المحمولة. وعلى الأرجح أنه سيكون هناك المزيد من التقنيات التحويلية في وقتٍ ليس ببعيد في المستقبل، كأجهزة الكمبيوتر الكمية الفائقة السرعة أو الانتقال البُعدي الكمي. وربما أكثرُ ما يثير الدهشة هو أن الحياة تبدو بارعةً وخبيرة في استعمال هذا العالَم الغريب المعقد، كما أبرزت في كتابي،[2] وفي كتابٍ لاحق شاركت جيم الخليلي في كتابته.[3]

إن أحد أعظم نجاحات ميكانيكا الكم تكمُن في الكشف عن عالَم الجسيمات الدون الذرية الغريب. إلا أنها في أول لقاءاتها مع ذلك العالَم لم تكشف عن بساطة، بل عن دَغَلٍ كثيف.

انكشاف الذرة بميكانيكا الكم

مع أن فكرةَ الذرة تعود إلى اليونانيِّين القدماء على الأقل، كان العلماء في مطلع القرن العشرين لا يزالون في سجالٍ حول ما إن كانت الذرة مفهومًا مجردًا مفيدًا أم شيئًا حقيقيًّا. واحدة من بين أوراق أينشتاين البحثية الأربع لعام ١٩٠٥ حسمت هذه المسألةَ بشكل كبير، وذلك بأن بيَّنت أن الحركة غير المنتظمة (البراونية) للجسيمات — كحبوب اللقاح المجهرية — المعلَّقة في الماء، لا تكون منطقيَّة إلا حين تتبعثر بفعل ارتطامها بذرَّات ماء خفيَّة.

حين أتى ديموقريطوس بفكرة الذرات، تصوَّرها كجسيمات ضئيلة وغير قابلة للتجزئة من المادة. وقد نجا هذا المفهوم من عملية التبديل المستمر بين نظرية الملاء

والنظرية الذريَّة في العالم القديم والعصرأوسطي والحديث حتى أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. ثم بحلول الوقت الذي كان أينشتاين يكتب فيه ورقتَه البحثية حول حقيقة الذرَّة، اكتشف كلٌّ من هنري بيكريل (١٨٥٢–١٩٠٨) وعلى نحوٍ مستقل ماري كوري (١٨٦٧–١٩٣٤) وبيير كوري (١٨٥٩–١٩٠٦) الانحلالَ الإشعاعي للذرَّات إلى أجزاءٍ أصغر منها. وقد بيَّن المزيدُ من التجارب على يد إرنست رذرفورد (١٨٧١–١٩٣٧) أن الذرات تتكوَّن من نواة ضئيلة الحجم موجبة الشحنة، وتحيط بها، على مساحة تساوي قطر النواة مضاعفًا بمائة ألف ضعف، سحابة من الإلكترونات السالبة الشحنة. كما أثبتت المزيد من التجارب اللاحقة أن الأنوية الذرية تتكوَّن من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة كهربيًّا، ما أدَّى إلى الصورة المألوفة والبسيطة نسبيًّا لدينا عن الذرَّة التي قد تراها مطبوعةً على أحد التي-شيرتات.

لكن هذه الصورة البسيطة لم تدُم طويلًا. إذ لاحظ العديدُ من علماء الفيزياء أن انحلال بيتا الإشعاعي لا يضيف شيئًا: بمعنى أن هناك شيئًا ناقصًا. في خطابٍ عنوانه «أعزائي السيدات والسادة المشعُّون» كتبه عالِم الفيزياء الكمية فولفجانج باولي (١٩٠٠–١٩٥٨) إلى زملائه في المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا، توقَّع باولي وجودَ جسيم أولي آخر شحنتُه صفر كالنيوترون، إلا أنه يملِك كتلةً أقل بكثير. وقد أطلق صديقه الإيطالي إنريكو فيرمي (١٩٠١–١٩٥٤) على هذه الجسيمات الجديدة اسم «النيوترينوات»، وهي تعني النيوترونات الصغيرة، وبذلك يصل عدد الجسيمات الأولية إلى أربعة. وفي العام ١٩٢٨، تمكَّن عالِم الفيزياء الإنجليزي بول ديراك (١٩٠٢–١٩٨٤) من دمج ميكانيكا الكم مع نظرية النسبية الخاصة، إلا أن المعادلات تطلَّبت أن يرافق كلَّ جسيم «جسيمًا مضادًّا»، وهو انعكاس للجسيم من نوعٍ ما له شحنةٌ مخالِفة لشحنة الجسيم الأصلي. ولم يمرَّ وقتٌ طويل حتى اكتُشفت أخت الإلكترون الموجبة الشحنة واسمها «البوزيترون» باعتبارها مسارًا بخاريًّا في غرفة سحابية.[٣]

أصبحت الغرف السحابية الأداةَ المفضَّلة لعلماء فيزياء الجسيمات، الذين نقلوها فوق الجبال لرصد الأشعة الكونية التي سيمتصُّها الغلافُ الجوي للأرض بخلاف ذلك. وقد أظهرت تجاربهم غيثًا من الجسيمات الجديدة المنطلقة من الفضاء العميق. في العام ١٩٣٦، اكتُشِف «الميوون»، وهو جسيم له شحنة مماثلة للإلكترون إلا أن كتلته تبلغ نحو مائة ضعف كتلة الإلكترون. اكتشاف ذلك الجسيم حثَّ عالِم الفيزياء الأمريكي إيزيدور إيزاك رابي (١٨٩٨–١٩٨٨) إلى السخرية قائلًا: «مَن الذي طلب هذا؟». ثم

سرعان ما ارتفع عدد الجسيمات الأولية بسرعة كبيرة إلى أرقام مزدوجة؛ حيث استمرَّت الجسيمات الجديدة في ترك آثارٍ لها في الغرف السحابية. ولم يزدَد الوضعُ إلا سوءًا حين أصبحت مسرِّعات الجسيمات متوفِّرة في خمسينيات القرن العشرين، وظهرت مجموعةٌ من الجسيمات الجديدة التي تحمل أسماءً غريبةً مثل «البيونات» و«الكاونات» و«الباريونات» من التصادمات العالية الطاقة للجسيمات. وبعد أن شهد باولي ذلك الحشدَ الكبير من الجسيمات المفترَض أنها أولية، قال متعجبًا: «لو كنت قد تنبأت بهذا، لتحولت لدراسة علم النباتات».

لم يكن عدد الجسيمات هو المربِك للغاية في الأمر بالنسبة إلى علماءَ مثل باولي، بل كانت حقيقة أنه لم توجد نظرية تتنبأ بوجودها. وقد بدا أن معظم تلك الجسيمات غيرُ ذي دور أو يلعب دورًا صغيرًا في عمليات تشكيل النجوم أو الكواكب أو الناس. كما ظهرت أيضًا عشراتُ الجسيمات الأولية الزائدة عن الحاجة لتجعل من شفرة أوكام أضحوكة.

لحسن الحظ، أحدُ أكثر العلماء تأثيرًا لكنْ أقلُّهم شهرة في القرن العشرين اكتشف مخرَجًا بسيطًا لتقليم حديقة الجسيمات هذه، كما أصبح يُطلق عليها.

تناظرٌ مخيف

وُلِدت إيمي نويثر (١٨٨٢–١٩٣٥) في إرلانجن بألمانيا يوم ٦ مارس لعام ١٨٨٢، وهي ابنةُ عالِم الرياضيات ماكس نويثر وإيدا أميليا كاوفمان. ارتادت إيمي المدرسةَ في مدينتها الأم، فدرست الألمانية والإنجليزية والفرنسية والحساب، وكانت التوقُّعات أنها ستُصبح مدرِّسة لغات، وهي إحدى المهن القليلة المتاحة لامرأة متعلِّمة. إلا أن إيمي لم تكن مهتمةً بتدريس اللغات، وكانت عازمة عوضًا عن ذلك على السعي إلى امتهان إحدى الوظائف في مجال الرياضيات. إذ أدركت أن هذا سيمثِّل تحديًا؛ حيث لم يكن بمقدور النساء الالتحاقُ بجامعة إرلانجن المحليَّة. لكن سُمِح لها أن تجلس في غرف المحاضرات كمستمعة؛ لأن والدَها كان يدرِّس في الجامعة. مكَّنها هذا من اجتياز اختبارِ دخول الجامعة في العام ١٩٠٣ وهي بعمر الحادي والعشرين، ما فتح أمامها باب جامعة جوتِنجن المرموقة.

في عام ١٩٠٣، كانت جامعة جوتنجن مركزَ العالَم الرياضي. حضرت إيمي محاضراتٍ لعمالقة في الرياضيات أمثال ديفيد هيلبيرت وهيرمان مينكوفسكي وفيليكس كلاين. لكن مرة أخرى لم يكن مسموحًا لها أن تلتحق بها بشكل رسمي. وبعد فصل دراسي واحد،



شكل ١٧-١: إيمي نويثر.

أُصيبت بوعكة صحية فعادت إلى إرلانجن؛ حيث خُفِّفت القيود التي تمنع التحاق الإناث بالجامعات.

بالعودة إلى إرلانجن وفي ظل توجيه صديق والدها وزميله بول جوردان، تمكَّنت إيمي من الحصول على درجتها العلمية، وانطلقت للحصول على شهادة الدكتوراه، فحصلت عليها مع مرتبة الشرف، وأصبحت ثاني امرأة في ألمانيا بأسرِها تحصل على شهادة الدكتوراه في الرياضيات. بعد ذلك سُمح لها أن تدرِّس في معهد إرلانجن للرياضيات، لكن كمحاضرةٍ من دون أجر، عوضًا عن أن تكون عضوًا معترفًا به رسميًّا من أعضاء هيئة التدريس. وفي إرلانجن تحوَّلت اهتماماتها إلى بعضِ أكثر المشاكل إلحاحًا في الرياضيات في بواكير القرن العشرين، وهي الجبر المجرَّد. الجبر المجرَّد هي طريقة من الطرائق يتم فيها التلاعبُ بالعمليات الرياضية كلها، وليس مجرَّد الأعداد أو الرموز. وقد نشرت إيمي عدةَ أوراق علمية رائدة، ما جعلها محطَّ اهتمام أساتذتها السابقين في جامعة جوتنجن.

كانت تلك الفترة في جامعة جوتنجن فترةً عصيبة. إذ كان أينشتاين قد نشر حديثًا أوراقَ نظرية النسبية العامة الخاصة به، وكان الكثيرون من أعضاء هيئة تدريس

الرياضيات مفتونين بالنظرية الجديدة وبالتحديات التي تنطوي عليها عملية كشفِ آثارها. دعا هيلبيرت أينشتاين لكي يلقي محاضراتٍ في جامعة جوتنجن من شهر يونيو إلى شهر يوليو من عام ١٩١٥. وقد اقتنع هيلبيرت من محاضرات أينشتاين بصحةِ نظرية النسبية العامة، إلا أن العالِمَين كشفا أيضًا مشكلةً فيها؛ حيث بدا أن النظرية تخرق أحدَ المبادئ الأساسية في العلم، وهو مبدأ حفظ الطاقة؛ والذي يرى أن الطاقةَ لا يمكن أن تُستحدث من عدم ولا أن تفنى. ظن هيلبيرت أنه يعرف امرأةً يمكن أن تقدِّم يدَ العون.

في العام ١٩١٥، دعا كلٌّ من هيلبيرت وكلاين، نويثرَ لكي تعود إلى جامعة جوتنجن. فقبِلت هي ذلك، إلا أن جهود هيلبيرت الرامية لتأمين وظيفةٍ لها في الجامعة كانت دائمًا ما يعوقها أساتذةُ العلوم الإنسانية — رغم دعم أساتذة الرياضيات والعلوم لها — الذين لم يتمكَّنوا من استيعاب فكرة أن تكون هناك أستاذة جامعية فيما بينهم. وقد أدَّى سخط هيلبيرت على عنادهم إلى فورةِ غضب شهيرة من جانبه، وذلك حين صاح فيهم قائلًا: «لا أرى أن جنس المرشَّح يمثِّل حجةً ضدَّ قبوله ... فنحن في نهاية المطاف جامعة، وليس مرحاضًا عموميًّا!». لكن التحيُّزات من القرن التاسع عشر ظلَّت مهيمنة، فكان يتحتَّم تسجيلُ محاضرات إيمي تحت اسم هيلبيرت لكن «بمساعدة من الدكتورة الآنسة إيمي نويثر». وظلَّت إيمي دون أجر.

كان أسلوب نويثر في التدريس مبتكرًا. كما كانت شعثاءَ بصورة شهيرة، فكانت تُوصف بأنها تحظى بمظهر «غاسلة»؛ إذ كان شَعرها يتحرَّر من دبابيسه بينما تتقدَّم تلاميذها في حماسة عبْر أعمقِ خبايا نظريات الرياضيات. كما تبنَّت إيمي أيضًا أسلوبَ أرسطو في التدريس المتجول،[٤] فكانت في غالب الأمرِ ما تلقي محاضراتها بينما تسير عبْر الحقول. وقد أمَّنت لها حماستها إلى جانب بهجتها وفطنتها رياضيًّا أتباعًا مخلصين بين مجموعة من الطلاب الذين أصبحوا يُعرفون باسم «أتباع نويثر». كما وصفها أحد زملائها وهو عالِم الرياضيات هيرمان فايل (١٨٨٥–١٩٥٥) بأنها «دافئة كرغيف خبز».[4] كان فايل قد عُيِّن أستاذًا فيما ظلَّت إيمي محاضرةً دون أجر. فأعلن قائلًا: «أنا خجِلٌ من شغلي لمنصب راقٍ كهذا إلى جوار إيمي، التي أعرف أنها أرفع مني مقامًا».

استعان ديفيد هيلبيرت بمهارات نويثر لحل المشكلة المزعجة التي تتمثَّل في خرقِ مبدأ حفْظ الطاقة في نظرية أينشتاين عن النسبية العامة. تشتمل الفيزياءُ النظرية على عدة قوانين حفظٍ أولية أخرى إلى جانب قانون حفظ الطاقة؛ فهناك قوانين حفظ الزخم والزخم الزاوي والشحنة الكهربية. وليس أيٌّ منها مثبَت في الفيزياء الكلاسيكية؛ فصحَّتها

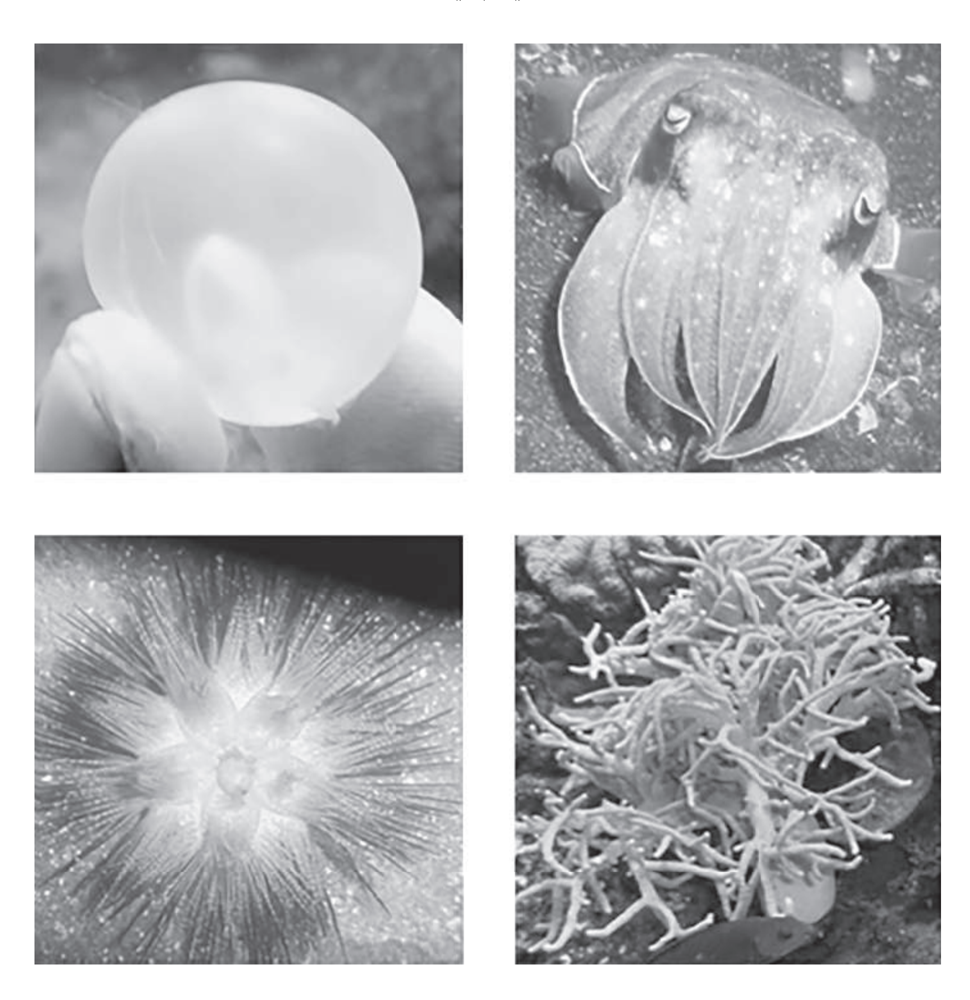
مجرَّد فرضيات؛ لأنه لم يُكتَشف أيُّ استثناءات لها. وعلى غرار ثبات سرعة الضوء، تبدو هذه القوانين من بين اللبنات الأساسية التي بُني بها كوننا. وحين طبَّقت إيمي نويثر أفكارَها الرياضية على مشكلةِ حفظ الطاقة في النسبية العامة، كشفت عن علاقةٍ أعمق وأشمل بين قوانين الحفظ وقوانين الفيزياء الأساسية. هذه العلاقة — والتي تُوصف في غالبية الأحيان بأنها «الفكرة الأجمل في الفيزياء» — تُعرف باسم مبرهنة نويثر.

هذه المبرهنة مبنيةٌ على فكرة التناظر. وهي تقول بأنه متى ما وُجِد تناظرٌ في قوانين الفيزياء، فهناك قانون حفظ يقابله.

تُظهِر الصور الثلاث الأولى أعلاه[5] (الصف الأعلى والصورة اليمنى من الصف السفلي) أنواعًا مختلفة من التناظر. بيضة الحبَّار (تقريبًا) كرويَّة. إذ يمكن تدويرها بأي زاوية وعلى أي مستوًى وستبدو (بقدر كبير) بالشكل نفسه. والحبَّار متناظِر بصورة ثنائية بحيث يمكن تقسيمه على مستوًى واحد إلى نصفين يكونان وكأن أحدهما صورةٌ معكوسة من الآخر. ويُظهِر قنفذ البحر تناظرًا خماسيًّا، في حين أن الصورة الأخيرة الخاصة بالمرجان تفتقر إلى أي تناظر. والأشياء المتناظرة تكون أبسط من نظرائها غير المتناظرة؛ حيث يمكن وصفُها بمعاملات أقل. على سبيل المثال، بمجرد أن تعرف أحدَ نصفي فراشة، فإنك بذلك تعرف النصف الثاني أيضًا. وعلى النقيض، ليس ثمَّة طريقةٌ لإعادة إنشاء شيء غير متناظر كالمرجان من أيٍّ من أجزائه. مِن ثَمَّ كان اكتشاف التناظر اعترافًا بوجود مستوًى ضمني من البساطة.

كانت تناظرات نويثر أكثرَ تخفيًا، ويمكننا أن نرى كيفية عملها بتخيُّل أنك تتأمَّل مهاراتِ صديقتك أليس في التلاعب بالكرات فيما يطلق عليه ألعاب الخفَّة في ساحةٍ محلِّية. ستجد أن صديقتك تملك تناظرًا دورانيًّا إن كان من غير المهم ما إن كانت تتلاعب بالكرات فيما تولِّي وجهها جهةَ الشمال أو الشرق أو الجنوب أو الغرب. وإن لم يكن هناك فارق ما إن كانت أليس تسير مائةَ ياردة أو نحو ذلك في أحد الاتجاهات، فيمكن أن نقول إنها تملِك أيضًا تناظرًا انتقاليًّا. وإن كان لا يهم أن تتلاعب أليس بالكرات اليوم أو غدًا أو في أي وقت آخر، فإنها تملك تناظرًا زمنيًّا. وإن كانت الكرات التي تتلاعب بها مشحونةً كهربيًّا، فإن تناظرَ الشحنة سيعني أن أليس لم تكن لتلقي بالًا إن تحوَّلت من الكرات الموجبة الشحنة إلى كرات سالبة الشحنة.

بالأساس، هذه التناظرات تُعَد امتدادًا لمنطق أينشتاين القائل بأن قوانين الفيزياء ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة إلى كل الراصدين. وقد أثبتت إيمي نويثر أنه يمكن



شكل ١٧-٢: تناظر وعدم تناظر كروي وثنائي وخُماسي.

تطبيقُ قانون حفظ مقابل متى ما كانت هناك تناظرات. ومِن ثَمَّ فإن التناظر الزمني يتضمَّن حفظًا للطاقة، والتناظر الانتقالي يتضمَّن حفظًا للزخم، وقانون نيوتن الثالث — القائل بأن لكل فعلٍ ردَّ فعلٍ مساوٍ في المقدار ومضاد في الاتجاه — هو نتيجة التناظر الدوراني.

طبَّقت نويثر مبرهنتها الجديدة على المشكلة التي أزعجت أينشتاين وهيلبيرت وأظهرت أنها لم تَعُد تمثِّل مشكلة إن أُخِذت التناظرات في الاعتبار. ولدى قراءته لورقتها، كتب أينشتاين إلى هيلبيرت يقول: «تلقَّيت بالأمس ورقةً مثيرة للاهتمام للغاية من الآنسة نويثر حول الأشكال الثابتة. وأنا مندهش من قدرة المرء على فهْم هذه الأمور من منظور عام للغاية».[5] مبرهنة نويثر الرائدة بالإضافة إلى ما حققته من أوجهِ تطوُّر في الجبر المجرَّد نقلاها من كونها مغمورةً إلى طبقة صفوة الرياضيِّين. إذ دُعيَت لتلقي محاضرات في مؤتمرات مرموقة عبْر أرجاء أوروبا، وأصبحت عضوًا في أبرز الجمعيات العلمية. ورغم كل هذا ظلَّت من دون وظيفة.

في عام ١٩٢٨، قبِلت إيمي دعوةً لتضطلع بوظيفة أستاذ زائر في جامعة موسكو. وتزامنت عودتُها إلى ألمانيا مع صعود النازيِّين إلى السلطة. وباعتبارها يهوديةً ومن مناصري الشيوعية طُردت من جامعة جوتنجن عام ١٩٣٣، إلا أنها ظلَّت تدرِّس في منزلها، فكانت ترحِّب بكل بهجة حتى بالطلاب من الجنود النازيِّين في محاضراتها الارتجالية.

أدَّى صعود النازية إلى هروب كلٍّ من ألبرت أينشتاين وهيرمان فايل من ألمانيا. وقد عُرِض عليهما — وقبِلا — وظيفتَين في معهد الدراسات المتقدِّمة المرموق في برينستون بالولايات المتحدة. مارس فايل ضغطًا شديدًا من أجل إلحاق نويثر ببرينستون إلا أنه لم ينجح في ذلك. في نهاية المطاف، عُرِض عليها منصب في كلية برين مار النسائية القريبة في بنسلفانيا، وقد قبِلت به وانتقلت للعمل هناك في أواخر العام ١٩٣٣.

قدَّمت كلية برين مار لإيمي ملاذًا بعيدًا عن الفظائع والأهوال التي تجري في أوروبا؛ إذ كان بإمكانها استكمالُ العمل الذي تحبُّه، وهو التدريس لطلاب الأبحاث والإشراف عليهم. لكن لسوء الحظ لم تدُم سعادتها طويلًا. ففي العام ١٩٣٥ اكتُشِف أنها مصابة بورم في الحوض، وماتت بعد جراحةٍ أجرتها وهي في الثالثة والخمسين من العمر. وفي يوم ٥ من شهر مايو لعام ١٩٣٥، نشرت صحيفة «ذا نيويورك تايمز» «خطابًا للمحرِّر» وقَّع عليه ألبرت أينشتاين عنوانه: «البروفيسور أينشتاين يكتب تقديرًا لزميلةٍ من علماء الرياضيات». في واقع الأمر ورغم أن أينشتاين وقَّع الخطاب، فإن هيرمان فايل هو مَن كتب متنَه، وقد كتب فيه «في رأي أكفأ علماء الرياضيات الأحياء، كانت الآنسة نويثر أهمَّ عبقرية إبداعية رياضية قدَّمها التعليم العالي للإناث منذ بدايته وحتى الآن». الكثير من علماء الرياضيات والفيزياء سيسقطون أمرَ الجنس من حساباتهم في هذه الآونة. وقد قرأ

فايل تأبينَها في جنازتها قائلًا: «لم تكوني من طينٍ شكَّله الرب في تناغمٍ بيده المبدعة، بل كنتِ قطعةَ ماسٍ بشرية أصلية نفث فيها الربُّ عبقريةً مبدعة».

تشذيب حديقة الجسيمات

بعد وفاتها، عزَّز فايل أفكارَ نويثر ليستحدث نهجًا ثوريًّا في فيزياء الجسيمات يُعرف باسم نظرية القياس. وقد قدَّمت النظرية تبسيطًا جذريًّا لحديقة الجسيمات، وهي بمنزلة الأساس في علم فيزياء الجسيمات الحديث.

كانت نقطة انطلاق فايل هي تأكيده أن قوانين الفيزياء لا ينبغي لها أن تكون بمعزلٍ عما إن كانت الجسيمات هنا أو هناك، تدور أو لا تدور، فحسب — كما حاججت نويثر — بل ينبغي لها أيضًا أن تكون بمعزلٍ عن كيفية تصنيفنا أو تمييزنا لها. قد يذكِّرك هذا بلجاجةِ ويليام الأوكامي الاسمانية على أن الكلمات التي تشير إلى المفاهيم المجرَّدة — كالأبوة — إنما هي كلمات تشير إلى كياناتٍ ذهنية وليست واقعية، ومِن ثَمَّ لا ينبغي استخدامها في العلم. وتسلك نظرية القياس منهجًا اسمانيًّا مشابهًا تجاه فيزياء الجسيمات،[6] في سبيل إيجاد قوانين مستقلة عن كيفية تصنيفنا أو تمييزنا للجسيمات أو القوى. والقوانين التي تتمتَّع بهذا التناظر تُوصف بأنها ثابتة قياسيًّا.

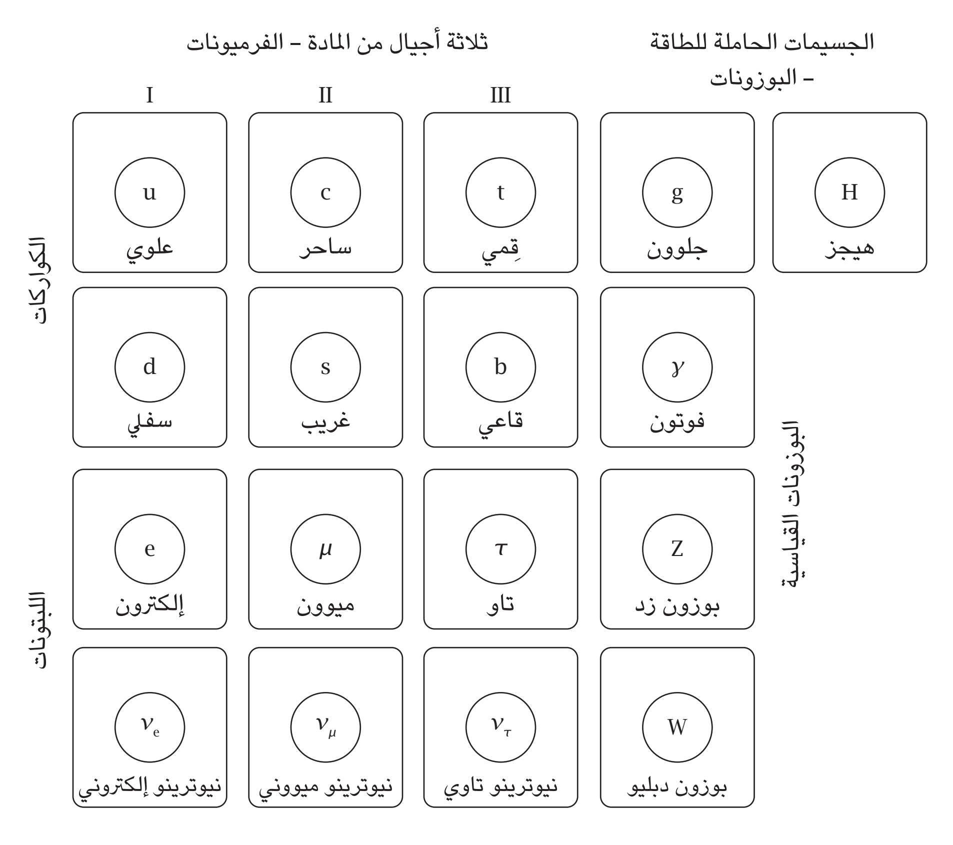
وحين بحث هيرمان فايل وزملاؤه عن قواعدَ ثابتة قياسيًّا للجسيمات المشحونة كهربيًّا، حصلوا على قوانين ماكسويل حول الكهرومغناطيسية. كانت تلك نتيجةً بارزة؛ حيث أظهرت أن هذه القوانين العظيمة الأهمية — والتي ألهمت أينشتاين لاكتشاف النسبية الخاصة — كانت انعكاسًا لتناظرٍ — ومِن ثَمَّ بساطة — أعمقَ في الطبيعة. تنبَّأت نظرية القياس أيضًا بوجودِ جسيم محايد عديم الكتلة قادر على نقل القوى بين الجسيمات المشحونة. تخيَّل أليس وبوب يلقي أحدهما إلى الآخر بكرةِ سلة فيما يقفان مرتديَين حذاءَ تزلُّج في حلبة تزلج. حين تلقي أليس بالكرة إلى الأمام، فإنها، طبقًا لقانون نيوتن الثالث، تندفع للخلف بفعل رميتها. وحين يمسك بوب بالكرة فإن أثرَها يدفعه بعيدًا عن أليس. تكون المحصِّلة النهائية أن المتزلِّجَين قد ابتعد أحدهما عن الآخر — من دون أن يحدُث تلامس بينهما. أدرك فايل وزملاؤه أن هذا هو ما يحدث بالفعل حين يلتقي أحدُ الإلكترونات بآخر. يُمرر الفوتون — ككرة السلة — بين الإلكترونات ما يسبِّب انحرافها عن بعضها: تتنافر الإلكترونات المتماثلة الشحنة.

تمامًا كما وحَّدت معادلات ماكسويل بين قوى الكهرباء والجذب المغناطيسي، كشفت نظريةُ القياس ما كان خفيًّا من قبلُ من تناظرات وحَّدت القوى الكهرومغناطيسية مع إحدى القوَّتين اللتين تبقيان على الأنوية الذرية متماسكة، وهي القوة النووية الضعيفة. مرة أخرى، الكيانات التي كان يُعتقد أنها مختلفة وُجِدت متماثلة وأصبح العالَم أكثرَ بساطة. وحين طُبِّقت نظريةُ القياس على الطاقة النووية القوية المسئولة عن الإبقاء على الأنوية الذرية متماسكة، قدَّمت هذه النظرية علم الديناميكا الكهربائية الكمِّية، وكذلك الإدراك بأن البروتونات والنيوترونات التي تشكِّل الأنوية الذريَّة تتكوَّن في واقع الأمر من مجموعاتٍ ثلاثية من الجسيمات الأولية أكثرَ التي تُدعى «الكواركات» والتي تأتي في ستة أشكال مختلفة هي: علوي، وسفلي، وساحر، وغريب، وقِمي، وقاعي. على سبيل المثال، تتكوَّن البروتونات من كواركين علويَّين وكوارك واحد سفلي، في حين تتكوَّن النيوترونات من كواركين سفليَّين وكوارك واحد علوي.

أنهت نظرية القياس حديقةَ الجسيمات في نهاية المطاف بظهور النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. وقد تصوَّر هذا النموذج وجودَ ثلاثة أجيال من جسيمات المادة (انظر الشكل ١٧-٣). تختلف الأجيال الأول والثاني والثالث فقط من حيث كتلتها. على سبيل المثال، جسيم «الميوون» وجسيم «التاو» هما نسختان من الإلكترون أكبر كتلة. ثم يأتي الجيل المنفرد من البوزونات الحاملة للقوة، وتشمل «الفوتون» وجسيم بوزون هيجز، أو هيجز، الغريب نوعًا ما. وجسيم هيجز منعزل نوعًا ما إلا أنه ضروري لوجودنا؛ حيث إن تفاعله مع الجسيمات الأخرى هو ما يُكسبها كتلتها. في واقع الأمر، تفاوت درجة التفاعل بين جسيمات الجيلين الثاني والثالث وبوزون هيجز هو ما يُكسِبها كتلةً أكبر من نظيراتها في الجيل الأول. وإن لم يوجد جسيم هيجز فستكون جميعها متطابقة.

ونظرية النموذج العياري هي إحدى النظريات العلمية الأخرى التي تتسم بالبساطة والجمال. لكن يعتقد معظم الفيزيائيِّين في وجود عالَم أكثرَ بساطة من هذا. إذ ترى النظريات المُوحَّدة الكبرى أن القوتَين الكهروضعيفة والكهروقوية تتَّحدان معًا في مستويات الطاقة العالية، وسيتَّضح أن اللبتونات (وهي في الغالب إلكترونات ونيوترونات) والكواركات هما وجهان مختلفان من الجسيمات نفسها.

تخيَّل حلبة تزلُّج تعجُّ بالمتزلجين الذين يرقص كلٌّ منهم رقصةَ بيروت الخاصة بالباليه بسرعة جدًّا على بحيرةٍ متجمِّدة تهبُّ على سطحها رياحٌ شمالية قويَّة. حين يدور المتزلِّجون بسرعات عالية — والتي تكافئ درجة الحرارة العالية أو الطاقة العالية — فإنهم يكونون مماثلين بعضهم بعضًا ومتناظرين دورانيًّا. لكن بينما تبطئ سرعتهم



شكل ١٧-٣: النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

ويفقدون الطاقةَ وتبدأ الرياح في لسعهم، سيتوقف المتزلِّجون في نهاية المطاف عن الدوران، وستكون أكتافهم مصطفةً باتجاه الرياح، وهو الاتجاه الذي يقلِّل من مقاومة الهواء. وبمجرد أن يصبحوا ثابتين، سيكون نصفهم تقريبًا متجهًا نحو الشرق والنصف الآخر نحو الغرب. سيتعطَّل تناظرهم الدوراني وما كان نوعًا واحدًا من المتزلجين سيصبح الآن خليطًا من نوعين. تقترح النظريات الموحَّدة الكبرى أن الكون حين برَد بعد الانفجار العظيم وقع له حدثٌ مشابه من كسرٍ للتناظر تسبَّب في تجميد اللبتونات والكواركات من جسيم لبتون-كوارك واحد. وتبدو الجسيمات مختلفة إلا أنها موحَّدة من خلال بساطة ضمنية تستعيدها في مستويات الطاقة العالية للغاية.

ما مدى البساطة الذي بدا عليه العالَم؟

نحن الآن على مشارف نهاية رحلتنا في تتبُّع آثار شفرة أوكام منذ العالم العصرأوسطي وحتى العالم الحديث. حتى الآن، أخذنا قيمة الشفرة على محمل الثقة. لكن هذه الثقة كانت في محلِّها. إذ وضع علماءُ عظامٌ أمثال كوبرنيكوس وكيبلر وجاليليو وبويل ونيوتن وداروين ووالاس ومندل وأينشتاين ونويثر وفايل وآخرين كُثُر ثقتَهم في البساطة، وأتى ذلك بثماره من خلال رؤًى جديدة مذهلة وإنجازات وكونٍ أكثرَ بساطة مما كان يُتخيَّل سابقًا. لكن الشفرة لا تضمن مثل ذلك.

كما أكَّدت مرارًا وتكرارًا، يمكن للكون أن يكون معقَّدًا بقدرِ ما يشتهي، وستكون الشفرة مفيدة دائمًا. فشرطها الذي ينص على «لا شيء يجب أن يفوق الضرورة» يرخِّص لنا أن نضيف أيَّ قدرٍ من التعقيد نحتاج إليه ما دُمنا لا نتخطَّى به نطاقَها. ومع ذلك، كانت الحلول التي اكتشفها العلماء العظام تزيح دومًا الستارَ عن عالمٍ أبسط. لا يلزم أن تنطبق القوانين نفسها في السماء وفي الأرض. كان بالإمكان أن تُصبح قوتا الجذب المغناطيسي والكهرباء قوتين مختلفتين تمامًا؛ ولربما ما كان للضوء علاقة بأي منهما. لم تكن البساطة مسلَّمًا بها، بل كانت تُكتشف أو تتبيَّن. لا تضمن الشفرة أن العالَم سيكون بسيطًا، لكن تبيَّن أن العالم كذلك في كل الأحوال تقريبًا. فلماذا؟

في العام ١٩٦٠، نشر يوجين فيجنر (١٩٠٢–١٩٩٥) — عالِم الفيزياء النظرية المولود في المجر والحائز على جائزة نوبل — ورقةً علمية نافذة التأثير تحت عنوان «الفاعلية غير المعقولة للرياضيات في العلوم الطبيعية»[7] يدفع فيها بأن القدرة الاستثنائية للرياضيات في إدراك العالم تمثِّل لغزًا. ويمكن إقامة حالة مماثلة تجاه البحث عن البساطة في العلوم والتي يمكن أن نطلق عليها الفاعلية غير المعقولة لشفرة أوكام. في واقع الأمر، يشير فيجنر إلى وجهة نظر مشابهة في مقاله حين يحاجج بأن علماء الرياضيات دائمًا ما يسعون إلى اكتشاف مبرهناتٍ «تروق لحسِّنا الجمالي باعتبارها عملياتٍ وأيضًا في نتائجها التي تتمتَّع بالبساطة والعمومية الشديدتين». إذن فإن اندهاش فيجنر من «الفاعلية الاستثنائية للرياضيات» هو أيضًا تأمُّل في الفعالية الاستثنائية للبساطة. فلماذا يجدي الأمر نفعًا بهذا الشكل الكبير؟

لم يمكن لفيجنر تفسيرُ سببِ جدوى الرياضيات بهذا الشكل، لكنه خلَص إلى أن «ملاءمة لغة الرياضيات في صياغة قوانين الفيزياء هِبةٌ مدهشة لا نفهمها ولا نستحقها».

وكما اكتشفنا، فإن الرياضيات هي أيضًا الأداةُ التي نكتشف بها البساطة؛ لذا فإن مصدر «الهِبة المدهشة» التي يتحدَّث عنها فيجنر هي البساطة بحسب ما أعتقد.

في الفصل الأخير من هذا الكتاب سنستكشف نظريةً مذهلة قد تمثِّل تفسيرًا لـ «الفاعلية غير المعقولة» لشفرة أوكام. وقبل أن نذهب إلى ذلك نحن بحاجة أولًا لإمعان النظر في كيفية عمل شفرة أوكام؛ ولهذا علينا أن نعود بالزمن بضعة قرون لنلتقي بكاهن بروتستانتي له اهتمام بالألعاب.

هوامش

(١) ينطبق المبدأ بالطبع على عدم اليقين المشترك لأزواج القياسات التكميلية، كالموقع والزخم أو الطاقة والزمان.

(٢) ٦٫٦٢٦ × $١٠^{-٣٤}$ $م^{٢}$ كجم/ثانية.

(٣) صندوق شفَّاف مملوء ببخار يتكثَّف حول مسارات الجسيمات ما يجعلها مرئية.

(٤) لسنا متأكدين أن أرسطو أخذ تلاميذه في جولات؛ حيث يشير المصطلح إلى الممرات المغطاة لمدرسة الليسيوم الخاصة به. لكني واثق من أنه لا بد فَعل.

(٥) جميعها من جزيرة سولاوسي (التي أطلق عليها ألفريد راسل والاس سيلايبس) أو مياهها المحيطة.

الفصل الثامن عشر

آلية عمل الشفرة

> القاعدة العامة التي تلهم كلَّ التفلسف العلمي ... [هي] «شفرة أوكام»: لا ينبغي الإكثارُ من الكيانات لما يتجاوز الضروري.
>
> برتراند راسل، ١٩١٤[1]

في أبريل من عام ١٧٦١، أي بعد موت إسحاق نيوتن بأربع وثلاثين سنة، وقبل مولد ألبرت أينشتاين بمائة وثماني عشرة سنة، اطَّلع ريتشارد برايس (١٧٢٣–١٧٩١) — الكاهن البروتستانتي المنشق والفيلسوف الأخلاقي وعالِم الرياضيات — على الأوراق البحثية غيرِ المنشورة لصديقه عالِم الرياضيات المتوفَّى حديثًا توماس بايز (١٧٠٢–١٧٦١). كان بايز عالِمًا متواضعَ النجاح. قبل ذلك بثلاثين سنة، كان قد هُرع للدفاع عن منهج إسحاق نيوتن الرياضي المعروف باسم حساب التفاضل والتكامل، الذي تعرَّض لهجوم في مقال موجَّه إلى «عالِم رياضيات كافر» على يد الفيلسوف الأيرلندي والأسقف الروماني الكاثوليكي جورج بيركلي الذي خشي أن علم نيوتن الميكانيكي سيقوِّض من العقيدة الدينية. وردًّا على ذلك، لم يقدِّم بايز في عمله بعنوان «مقدمة إلى التدفُّقات» الذي كتبه في عام ١٧٣٦، دفاعًا عن نيوتن فحسب، بل هاجم أيضًا دفاع بيركلي، محاججًا بأنه «كان من الخطأ تمامًا إقحامُ الدِّين في هذا الجدال من الأساس». ورغم كونه كاهنًا مشيخيًّا، ذهب بايز إلى القول: «سأنظر الآن إلى الموضوع بعد تجريده من كل علاقة له بالدِّين وكمجرد أمرٍ من أمور العلوم الإنسانية». بحلول ذلك الوقت، فصل على الأقل العلوم المادية عن الدين، الذي بدأه ويليام الأوكامي قبل أربعة قرون، كان قد قارب على التمام.

وبين أوراق بايز البحثية كان ثمَّة ورقةٌ وجد برايس أنها مثيرة للاهتمام والحيرة على حد سواء. كانت الورقة بعنوان «مقال من أجل حل مشكلة في مذهب الاحتمالات». الاحتمال — أو الأرجحية — كان موضوعًا مثيرًا للجدل في القرن الثامن عشر؛ حيث جمع مجال التأمين في إنجلترا واسكتلندا ثروةً طائلة من قدرتها على وضع سعر لاحتمالية الوفاة أو غرق السفن، أو التعرُّض للتلف أو الإصابة بالمرض أو الجروح أو أي بليَّة. كان العديد من أقارب برايس خبراءَ في التأمين، وبعد عشر سنين كان سيكتب كتابَه عن المناهج الإحصائية للحسابات التأمينية. لكن في العام ١٧٦١، لم يكن قد رأى من قبلُ قط شيئًا أشبهَ بالإحصاء الذي ورد ذِكره في ورقة بايز.

توماس بايز هو أحد أكثر الأبطال المحيرين في قصتنا. فبالكاد نعرف عنه أكثرَ مما نعرف عن ويليام الأوكامي. وهناك صورةٌ شائعة عنه لرجلٍ ذي ملامحَ صارمة نوعًا ما وشَعر داكن اللون ويرتدي ثوبًا وياقة كهنوتيَّين يُزعم غالبًا أنها تعود له، إلا أن هذا الأمر مشكوك في صحته في أفضل الأحوال.[2] وُلد بايز في العام ١٧٠٢، على الأرجح في هارتفوردشير، وكان ابنًا لكاهنٍ منشق آخرَ وهو جوشوا بايز. وبعد دراسته اللاهوت والمنطق في جامعة إدنبرة واصل ليصبح كاهنًا في كنيسة ماونت سيون في تانبريدج ويلز بكنت. مدينة المنتجعات الصحية تلك كانت قد أصبحت منتجعًا رائجًا أثناء فترة استرداد الملكية بعد زيارة الملك تشارلز الثاني ومِلكيته لها من أجل «الاستحمام في مياهها» في العام ١٦٦٣. إلا أن المدينة بعدئذٍ اكتسبت سمعة بذيئة نوعًا ما، وقد وصفها جون ويلموت إيرل روتشستر في عمله «الدِّين إلى المتعة»[3] الذي نُشر عام ١٦٨٥ بأنها «ملتقى الحمقى والمهرِّجين والثرثارين الأغبياء/الديوثين والعاهرات وسكانها وزوجاتهم وبناتهم».

لم يكن الموقَّر توماس بايز واعظًا شهيرًا على وجه الخصوص في «ملتقى الحمقى»، لكنه رسَّخ لسمعةٍ له كعالِم، بل قد دُعيَ حتى لشرح وبرهنة ذوبان الثلج لـ «ثلاثة من السكان الأصليِّين من جزر الهند الشرقية» الذين زاروا المدينة في العام ١٧٤٠. وعلى الأرجح أن انتخابه لعضوية الجمعية الملكية في ١٧٤٢ كان بسبب دفاعه عن تفاضل وتكامل نيوتن، إلا أنه لم ينشر مزيدًا من الأعمال الرياضية قبل وفاته في العام ١٧٦١. مِن ثَمَّ كانت ورقة بايز عن الاحتمالات مفاجأةً مذهلة لصديقه ريتشارد برايس. وقد رتَّب لقراءة الورقة في اجتماع للجمعية الملكية بعد وفاة بايز بعامين، ثم بعد ذلك طباعتها.

شفرة الاحتمال

يبدو أن بايز أبدى أولَ اهتمام بالاحتمالات بعد قراءة عمل «رسالة في الطبيعة البشرية» للفيلسوف الاسكتلندي ديفيد هيوم. طرح هيوم ما أصبح يُعرف بـ «مشكلة الاستقراء» كنقد للمنهج العلمي المهيمن منذ عصر التنوير. وكما ذكرنا في الفصل العاشر، كان فرانسيس بيكون من روَّاد الاستقراء كوسيلة للوصول إلى استنتاجاتٍ موثوق فيها علميًّا من عدة ملاحظات. على سبيل المثال، من ملاحظة أن الشمس أشرقت كلَّ يوم في التاريخ البشري، قد نستخدم منهج الاستقراء لنزعم أن الشمس دائمًا ما تُشرق. أشار هيوم إلى أن هذا ليس مبنيًّا على أي منطق راسخ. فافتراض أن «الشمس دائمًا ما أشرقت في الصباح وستشرق غدًا» ليس مثبتًا أكثرَ من الافتراض أن «الشمس دائمًا ما أشرقت في الصباح ولن تشرق غدًا». كلا الافتراضين يتوافق مع كل الأدلة الموجودة، ولا يمكن التفريقُ بينهما لا على أساس منطقي ولا تجريبي. وقد شدَّد هيوم على أن منهج المنطق الاستقرائي هذا لا يقدِّم إلا احتمالات وليس قناعات.

قبِل بايز بحجَّة هيوم أن الاستقراء لا يمكن أن يقدِّم قناعاتٍ، لكنه كان واثقًا أنه يقدِّم احتمالات مفيدة برغم ذلك. فانطلق يحاول توفيرَ إطار رياضي راسخ لحَدْسه. باعتباره كاهنًا كنسيًّا، كان بايز على الأرجح منخرطًا في أحداث جمع أموال التبرُّعات، كالتومبولات أو اليانصيب، ومِن ثَمَّ فإنه يبدأ حجَّته بأن يطلب منَّا أن «نتخيَّل شخصًا حاضرًا في سَحب يانصيب، لا يعرف شيئًا عن نظامه ولا عن نسبة الفوارغ إلى الجوائز فيه». عند هذه المرحلة سيكون من الأسهل أن ندرك قيمةَ شفرة أوكام في الإحصاء البايزي إذا ما أبدلنا النردَ بالتومبولا. سنتخيَّل أن السيد برايس صديق بايز يملِك حجرَي نَردٍ. النَّرد الأول نَردٌ تقليدي له ستة أوجه، والثاني غير تقليدي وأكثر تعقيدًا وله ستون وجهًا. وسنتخيَّل كذلك أن السيد برايس يقنِع الموقَّر بايز أن يلعب لعبةً يلقي فيها من خلف ستارٍ أحدَ النَّردين ثم يقول رقمه. ثم بعد ذلك يطلب من الموقَّر بايز أن يخمِّن أي حجرَي النَّرد ألقى.

قد يكون أول حَدْس لدى الموقَّر أن من المرجَّح أن يتساوى احتمالُ إلقاء السيد برايس لأي من حجرَي النَّرد. وطبقًا للرؤى الإحصائية الواردة في ورقة بايز المنشورة بعد وفاته، فإنه سيعيِّن «احتمال مسبق»، وهو الاحتمال السابق لإلقاء السيد برايس للنَّرد، وهو يساوي نصفًا — ٠٫٥ — بالنسبة إلى فرضية حجر النَّرد ذي الستة الأوجه، ونصفًا بالمثل أيضًا لفرضية حجر النَّرد ذي الستين وجهًا. لنفترض أن العدد الأول الذي نادى به




شكل ١٨-١: حجرا النَّرد الخاصان ببايز.

برايس هو ٢٩. بالتأكيد أن بايز سيقول: «هذا حجر النَّرد ذو الستين وجهًا» وسيومئ برايس موافقًا. لكن عقل بايز الرياضي سينفِّذ أيضًا على الأرجح عمليةً حسابية بسيطة وفقًا للمبادئ التي أوردها في ورقته. بالنسبة إلى فرضية النَّرد ذي الستين وجهًا، سيضرب بايز الاحتمالَ المسبق وهو ٠٫٥ في قيمةٍ تُدعى «الأرجحية»، وهي أرجحية أن يأتي النرد ذو الستين وجهًا بالعدد ٢٩. وحيث إن هناك ستين عددًا محتملًا يمكن أن يأتي بها النَّرد، فإن كل عدد — بما في ذلك العدد ٢٩ — له أرجحية تساوي ١/٦٠ أو ٠٫٠١٦. وبضرب هذه القيمة في الاحتمال المسبق الذي يساوي ٠٫٥ سيحصل بايز على «احتمال لاحق» (وهو الاحتمالية التي تظهر بعد ورود البيانات) يساوي ٠٫٠٠٨ لفرضية النَّرد ذي الستين وجهًا.[1]

سينفِّذ بايز أيضًا العمليةَ الحسابية نفسها لفرضية حجر النَّرد ذي الستة الأوجه؛ حيث سيضرب قيمةَ الاحتمال المسبق وهو ٠٫٥ في أرجحية أن يأتي النَّرد بالعدد ٢٩. بالطبع نتيجة هذا هي صفر، حيث إن أي جانب من جوانبه لا يحوي العدد ٢٩. وحاصل ضرب أيٍّ عدد في صفر يساوي صفرًا؛ لذا فإن الاحتمال اللاحق لأن يُظهر النَّرد ذو الستة الأوجه العدد ٢٩ هو صفر. وبمقارنة الاحتمالين اللاحقين ببعضهما، فإنه سيقسم الاحتمال المسبق لحجر النَّرد ذي الستين وجهًا وقيمته ٠٫٠٠٨ على الاحتمال اللاحق لحجر

النَّرد ذي الستة الأوجه وقيمتها صفر. وحاصل قسمة أي عدد على صفر هو عدد لا متناهي؛ لذا فإن الاحتمال النسبي لأن يُظهر النَّرد ذو الستين وجهًا العدد ٢٩ — بالمقارنة مع النَّرد ذي الستة الأوجه — هو عدد لا نهائي. مِن ثَمَّ من المرجَّح أكثرَ بصورة لا نهائية أن يكون برايس قد ألقى حجر النَّرد ذا الستين وجهًا. هنا يفوز بايز.

قد يبدو أن مبرهنة بايز تزيد من تعقيد شيء بديهي وبسيط، لكن هذه اللعبة تُصبح مثيرةً أكثرَ في الجولة الثانية حين يختار برايس أحدَ حجري النَّرد سرًّا للمرة الثانية. يلقي برايس بحجر النَّرد ثم ينادي بالعدد ٥. أصبح الموقف الآن يحوي قدرًا من الالتباس؛ حيث إن العدد ٥ يمكن أن يظهر على أيٍّ من حجرَي النَّرد. فهل أرجحية كلٍّ منهما متساوية؟ لا يعتقد الموقَّر بايز ذلك، وقد صمَّم طرائقه الإحصائية ليتعاطى مع هذا النوع بالتحديد من مشاكل الاستقراء؛ حيث تتناسب اثنتان من الفرضيات أو النماذج أو العديد أو حتى عدد لا نهائي منها مع البيانات. فكيف تختار من بينها؟

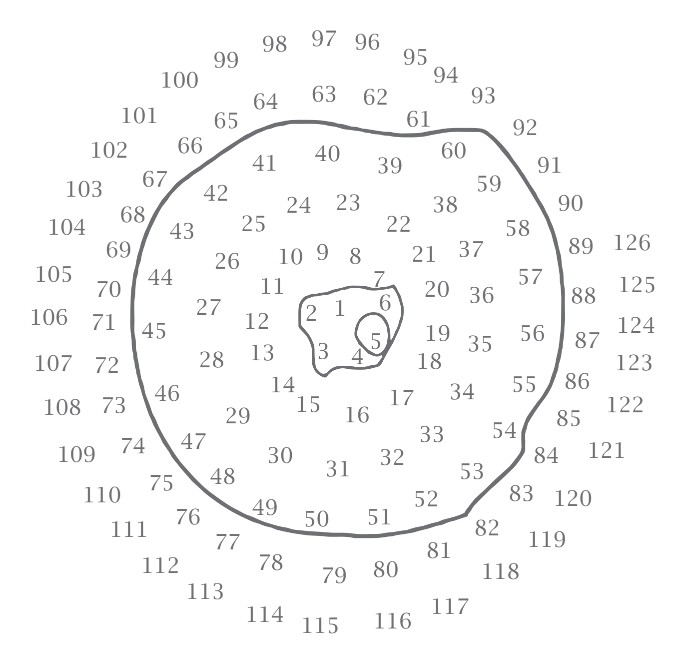
العامل الرئيسي في مبادئ إحصاء بايز هو الأرجحية البايزية، التي تُضمَّن شفرة أوكام بصورة تلقائية — كما أشار عالِم الإحصاء هارولد جيفريز للمرة الأولى في كتابه عن الاحتمالات المنشور عام ١٩٨٩،[4] وكما شرحها الكثير من متَّبِعي منهج بايز من الإحصائيِّين اللاحقين بمزيد من التفصيل[5] — وذلك من خلال تفضيل النظريات البسيطة واستبعاد المعقَّد منها. يمكننا رؤية ذلك إذا ما كرَّرنا تحويل بايز للاحتمالات المسبقة إلى احتمالات لاحقة في الجولة الثانية من لعبة إلقاء النرد. مرة أخرى، سيعيِّن بايز احتمالًا مسبقًا قيمته ٠,٥ لكلتا فرضيتَي حجرَي النَّرد. أرجحية أن يأتي النَّرد ذو الستين وجهًا بالعدد ٥ هي مثلها بالنسبة لأن يأتي بالعدد ٢٩، وهي تساوي ١/٦٠ أو ٠,٠١٦. حين نضرب هذه القيمةَ في الاحتمال المسبق فإن بايز سيحصل مرةً أخرى على احتمال لاحق قيمته ٠,٠٠٨.

لكن حين نكرِّر إجراءَ هذه العملية على فرضية حجر النَّرد ذي الستة الأوجه فإن أرجحية أن يأتي بالعدد ٥ تكون أعلى بكثير؛ حيث تساوي ١/٦ أو ٠,١٦. السبب في هذا بالطبع أن حجرَ النَّرد ذا الستة الأوجه أكثرُ بساطةً بمعنى أن هناك عددًا أقلَّ من الأعداد التي يمكن أن يأتي بها النَّرد. يضرب بايز الاحتمالَ المسبق لحجر النَّرد ذي الستة أوجه وقيمته ٠,٥ في ٠,١٦ ليحصل على احتمالٍ لاحق قيمته ٠,٠٨. وهذا يساوي عشرة أضعاف الاحتمال اللاحق لحجر النَّرد ذي الستين وجهًا الأكثر تعقيدًا. لذا من المرجَّح أكثرَ بعشرة أضعاف أن يكون العدد ٥ ظهر على حجر النرد ذي الستة الأوجه منه على

حجر النَّرد ذي الستين وجهًا. وعلى أساس مبادئه الإحصائية المبتكرة، سيقول بايز: «هذا حجر النَّرد ذو الستة الأوجه» وفي هذه الحالة يفوز ثانية.

الأرجحية تقدِّم لإحصاء بايز شفرتَها المتضَمَّنة فيها والتي تفضِّل تلقائيًّا الفرضيات الأبسط؛ لأنها تملِك احتمالية أعلى من حيث إنتاج البيانات. طريقة أخرى لتخيُّل هذا تتمثَّل في النظر إلى حيِّز المعاملات، وهو مجموعة القيم الممكنة لكل نموذج أو فرضية أو — بالمثل — مجموعة الملاحظات التي يمكن أن ينتجها كلٌّ منها. ألقِ نظرةً إلى دوامة الأعداد المعروضة في الشكل ١٨-٢. الأعداد التي يمكن أن تظهر على نَردٍ ذي ستة أوجه، أي حيز المعاملات الخاص به، موجودة في المنطقة الوسطى الصغيرة. وتمثِّل البقعةُ الكبرى منها حيزَ المعاملات لنَردٍ ذي ستين وجهًا، في حين أن النطاق المحيط بها يعجُّ بأعدادٍ لا يمكن أن نصل إليها بأيٍّ من النَّردين، والتي تمتد إلى اللانهاية. لاحظ أن نطاق حجر النَّرد ذي الستين وجهًا يشمل حيزَ معاملاتٍ أصغرَ يمكن الحصول عليه بالنَّرد البسيط. والعدد ٥ (المحاط بالبقعة الأصغر) يقع ضمن كِلا النطاقين؛ حيث يمكن أن يظهر على أيٍّ من النَّردين. كما يمكن أن يظهر أيضًا على نَردٍ ذي سبعين وجهًا — إن كان السيد برايس يحظى بواحد — أو ذي ثمانين وجهًا، أو أي عدد لا نهائي من أحجار النَّرد الممكنة التي يمكن أن تقدِّم الملاحظة نفسها. هذه هي المشكلة الرئيسية في العلم والتي تطرَّقنا إليها خلال هذا الكتاب: وهي مشكلة اختيار النموذج. حين يكون لديك وفرةٌ من النماذج الممكنة التي تفسِّر أيَّ ظاهرة، كيف لك أن تختار من بينها؟ جوهر شفرة بايز أنه يختار النظريةَ أو الفرضية أو النموذج الذي يحتل فيه نطاقُ البيانات (وهو العدد ٥ في المثال أعلاه) أكبرَ جزء من حيِّز المعاملات في النموذج (حجر النَّرد ذو الستة الأوجه)، ومِن ثَمَّ فإنه يكون النموذج صاحب الأرجحية الأعلى في إنتاج البيانات. دائمًا ما يكون هذا هو النموذج الأبسط: شفرة أوكام.

إن شفرة أوكام بطريقة بايز هي وسيلةُ العلم في التعامل مع عددٍ وافر من النماذج التي تناسب برغم ذلك البيانات. تأمَّل قانون نيوتن الذي يرى أن «لكل فعلٍ رد فعلٍ مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه». لذا، حين تركل كرة قدم، فإن قوةَ حذائك (الفعل) على الكرة يقابلها قوةُ الكرة (ردُّ الفعل) على أصابع قدمك. هذا القانون البسيط يتماشى مع كل ركلة حدثت في كل مباراة من مباريات كرة القدم. لكنَّ هناك قانونًا آخرَ يتماشى بصورة مماثلة مع كل البيانات: «لكل فعلٍ رد فعلٍ مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه، إضافة إلى عفريت صغير خفي يدفع الكرة لتضغط على حذائك». ثم تأتي



شكل ١٨-٢: حيِّز معاملات حجر نَردٍ ذي ستين وجهًا.

فرضية ثالثة بها عفريتان ورابعة ربما كان بها عفريتان وملاك يقدِّمون عناصرَ مختلِفة من ردِّ فعلِ الكرة تجاه قوة حذائك، وهكذا حتى نصل إلى عددٍ لا نهائي من الفرضيات أو النماذج.

هذا المثال بسيط، لكن ليس بصورة تامة. فالأثير، وأفلاك التدوير عند بطليموس، والفلوجيستون، والمبدأ الحيوي، و«الروح العارفة» عند هنري مور، ومفهوم الخالق المقدَّس، والكهرباء والجذب المغناطيسي، والزمان والمكان، والجاذبية والتسارع، وكميَّات الطاقة التي تكون أصغر من أن يمكن قياسها، هذه كلها طرقٌ معقَّدة لتطوُّر فهمِ العالم. ولا يمكن إقصاء أيٍّ منها على أساس المنطق وحدَه، لكن يشدِّد العلم على أنه إن كان ثمَّة نموذجٌ أبسط متاحًا فينبغي تبنِّيه. ويقدِّم إحصاء بايز الأساسَ الإحصائي لهذا التفضيل ويلتزم بشفرة أوكام.

كل الإنجازات العلمية الثورية التي صنعها كوبرنيكوس ونيوتن ومندل وداروين وغيرهم — وهي ما أطلق عليها فيلسوف العلوم الأمريكي توماس كون مصطلح

«النقلات النوعية» — اشتملت على الاستغناء عن نموذجٍ أكثر تعقيدًا لصالحِ آخرَ أكثر بساطة. وقد أتى تفضيلهم للنماذج البسيطة من مبادئَ صوفية أو لاهوتية أو جمالية أو من البداهة البسيطة. لكن ومع أن شفرة أوكام تملك الكثيرَ من التجليات والمبرِّرات المختلفة،[6] ففي اعتقادي أن شفرة بايز تعبِّر عن جوهرها من حيث تطبيقه على العلوم. تُؤثِر الشفرةُ النظرياتَ البسيطة ليس لأنها أكثر جمالًا، مع أنها كثيرًا ما تكون جميلة؛ ولا بسببِ أنها أسهل من حيث الفهم، رغم أنها ستكون كذلك في غالب الأحيان؛ ولا بسبب أنها تقدِّم افتراضاتٍ أقل، رغم أنها كثيرًا ما تفعل؛ ولا لأنها تقدِّم تنبؤات أدق، رغم أنها دائمًا ما تفعل ذلك: لكن لأنها من المرجَّح أكثرَ أن تكون صحيحة.

رغم ذلك، من المهم أن نتذكَّر أن تفضيلنا للحلول البسيطة هو تطوُّر حديث العهد في غالب الأمر. قبل ويليام الأوكامي، كان الرد القياسي تجاه مشكلةٍ ما هو إضافة المزيد من الكيانات عليها. كان ويليام الأوكامي هو أول مَن شدَّد على ضرورة الوصول لأبسط الحلول، وهذا مبدأ أصبح منذ ذلك الحين حجرَ الأساس في العلم والسمة المميِّزة للحداثة.

الحقيقة البسيطة

الشكل البايزي من شفرة أوكام يقدِّم أيضًا تبصرًا رائعًا عن سببِ اقتناع العلماء بشدةٍ من كوبرنيكوس إلى براهي أو جاليليو أو نيوتن، بأن الأرض تدور حول الشمس، مع أنهم لم يملكوا أي أدلة دامغة على ذلك. المؤرِّخون وفلاسفة العلوم مثل توماس كون[7] أو آرثر كيستلر[8] استشهدوا كثيرًا بفكرة أن عمالقة العلم الحديث المبكِّر كانوا مقتنعين بفكرةِ مركزية الشمس رغم الافتقار إلى الأدلةِ المؤيِّدة لذلك باعتبارها دليلًا على أن العلم — وبما يناقض مزاعم العلماء — ليس مدفوعًا في المقام الأول بالعقل، بل بتحيُّزات شخصية أو ثقافية أو غير منطقية. على سبيل المثال، كتب كون يقول: «كان نظام كوبرنيكوس الجديد عن الكواكب فاشلًا، وذلك بالاستناد تمامًا إلى أسسٍ عملية؛ إذ لم يكن أكثرَ دقة ولا أكثر بساطة بكثير من سابقه البطلمي». وبالمثل، زعم كيستلر أن كلا النموذجين البطلمي والكوبرنيكي اشتملا على ما بين ثلاثين إلى ثمانين دائرة أو فلك تدوير، رهنًا بطريقةِ عدِّها. وعلى تلك الأسس، يحاجج كلٌّ من كون وكيستلر بأن معيار البساطة الذي عوَّل عليه هذان العالِمان الجليلان كان زائفًا.

وقد استغلَّ الما بعد الحداثيون والمؤرِّخون والفلاسفة النسبيون في القرن العشرين هذا الزعمَ بحماسة شديدة ليدعموا افتراضَهم أن العلم لا يملك حجَّة أقوى تجاه الحقيقة

الموضوعية من أي نظام فكري آخر. على سبيل المثال، دفع فيلسوف العلوم بول فايرابانـد (١٩٢٤–١٩٩٤) بأن: «لأولئك الذين ينظرون إلى المادة الغنية التي يقدِّمها التاريخ [تاريخ العلم] ... سيتَّضح أن هناك مبدأً واحدًا فقط يمكن الدفاع عنه في ظل كل الظروف وكل مراحل التطور البشري. وهو المبدأ القائل: أي شيء يكون مناسبًا».[9] وطبقًا للما بعد الحداثيين، يتساوى العلم مع الأنظمة الأخرى للاعتقاد كالدِّين أو الصوفية أو العِرافة أو المعتقدات الشعبية أو التنجيم أو الطب التجانسي أو الخوارق. يزعم هؤلاء أن كل نظام من هذه الأنظمة يملك حقائقَه الخاصة به، ولا يمكن لأيٍّ منها أن يحاجج باحتكاره للحقيقة. وذهب فايرابانـد إلى حد الدفع بأن العلم — في التعليم العام — لا ينبغي أن يحظى بأي وضع متميِّز في أماكن الدراسة على الصوفية أو السحر أو الدِّين.

كان ويليام الأوكامي سيعارض هذا بكل تأكيد. إذ شدَّد على أن ثمَّة فارقًا صارخًا بين العلم والدِّين؛ حيث إن العلم مبنيٌّ على المنطق فيما يرتكز الدِّين على الإيمان. إلا أن الما بعد الحداثيين يعارضون هذا. وكثير من حججهم متأثرة بشدة بالفيلسوف النمساوي البريطاني لودفيج فيتجنشتاين (١٨٨٩–١٩٥١). رغم حصول فيتجنشتاين على تدريب ليصبح مهندسًا، أصبح مفتونًا بالرياضيات ثم الفلسفة على يد برتراند راسل في كامبريدج الذي كتب في العام ١٩٠٣ كتاب «مبادئ الرياضيات» الذي يحاجج فيه بأن الرياضيات والمنطق متماثلان. وفي العام ١٩٢١، نشر فيتجنشتاين كتابَه العميق التأثير «رسالة منطقية فلسفية» الذي تطرَّق فيه إلى العلاقة بين اللغة والواقع، وفي تلك المرحلة من مسيرته يبدو أنه كان يقبل (لا يزال الفلاسفة يتجادلون بشأن معنى الكثير من العبارات الفلسفية لفيتجنشتاين) بأن العلم يمكن أن يدلي بإفاداتٍ صحيحة على نحوٍ قابل للتحقُّق منه حول العالم. وبعد ثلاثين عامًا، يبدو أن فيتجنشتاين في كتابه «تحقيقات فلسفية» تخلَّى عن سعيه لاكتشاف كيفية تمثيل اللغة للعالم ويحاجج عوضًا عن ذلك بأن هناك فقط أساليبَ مختلفة لاستخدام اللغة، أو «ألعاب لغوية» يُستقى معناها فقط من استخدامها. يبدو أن هناك الكثير من القواسم المشتركة بين هذه الحجَّة وتشديد ويليام الأوكامي ذي النزعة الاسمانية على أن الكلمات تشير إلى أفكار في أذهاننا وليس لكليَّات موجودة في العالم المادي. قبل سبعة قرون كان ويليام الأوكامي قد استخدم القياس الخاص بمالك الحانة الذي يعلِّق طوقَ برميل فارغ فوق باب حانته ليشير إلى وجود النبيذ عنده.[10] ليس للطوق أي علاقة مباشرة بكوب النبيذ لكنه عوضًا عن ذلك يمثِّل عُرفًا يدركه المستخدمون الآخرون لهذا العُرف — كشاربي النبيذ — للمساعدة في

عيشهم لحياتهم اليومية. دفع الأوكامي بأن اللغات كلها تكتسب معناها بالمِثل من انتقاع مستخدميها من كلماتها.

إلا أن فيتجنشتاين ذهب لأبعد مما ذهب إليه الأوكامي ليدفع بأن كل لعبة لغوية على حدة تُعَد غير متناسبة، بالمعنى الذي وضعه أرسطو عن كون الدائرة غير متناسبة مع الخط المستقيم؛ لأنها تنتمي إلى فئةٍ وجودية مختلفة. دحض الأوكامي هذا المفهوم في القرن الرابع عشر، وذلك من خلال فكِّه لحبله المجازي والبرهنة على أن بإمكان الحبل أن يصبح دائرة أو خطًّا مستقيمًا إلا أن أخطاء التصنيف وعدم قابلية القياس استمرت بعناد في الدوائر الفلسفية. أحد الأمثلة المفضَّلة من الفيلسوف البريطاني جيلبرت رايل (١٩٠٠–١٩٧٦) يتخيَّل زائرًا لجامعة أكسفورد يزور مكتباتها وكلياتها العديدة، لكنه بعد ذلك يسأل: «لكن أين الجامعة؟». خطأ الزائر هنا أنه افترض أن الجامعة عضو في تصنيفٍ للأشياء المادية — كمبنًى جامعة مثلًا — عوضًا عن كونها مؤسسة موجودة سببيًّا فقط في أذهان الطلاب وأعضاء التدريس والزائرين. بالمثل، قال كون: «إن … التقليد العلمي الذي يبرز من ثورة علمية ليس متنافرًا مع ما كان من قبلُ فحسب، بل غالبًا في واقع الأمر غير متناسب معه».[11] بالمثل شدَّد الفيلسوف الما بعد الحداثي الأمريكي ريتشارد رورتي على ما يلي: «لا أظن أن ثمَّة … أي حقائق مستقلة عن اللغة».[12]

رغم موقفهم المناهض للعلم، فإنني أتعاطف مع الكثير من النقاط التي أبرزها دعاةُ ما بعد الحداثة ودعاة النسبية، وبصفة خاصة معارضتهم لمفهوم أن قيم الثقافة الغربية — والتي يُقصد بها عادةً قيمَ الغربيين الأثرياء البيض المتمتعين بقدرٍ عالٍ من العلم — هي قيم عامة. إذ يبرزون بصورة صحيحة أنه ليس هناك أساس موضوعي لإعطاء قيمة أعلى لمسرحية «هاملت» لشكسبير — على سبيل المثال — بالمقارنة مع قصص الرجل العنكبوت التي تنشرها دار نشر مارفل أو قصص الأشانتي الشعبية حول العنكبوت أنانسي. والعلم أيضًا نتاجُ اللغة والثقافة. وكما علَّق مؤسِّس ميكانيكا الكم نيلس بور: «نحن مقيدون باللغة لدرجةِ أن كل محاولة لتكوين رؤية هي عبارة عن تلاعب بالكلمات».[13] إلا أنني هنا أختلف مع دعاةِ ما بعد الحداثة. إذ إن أفكارهم النسبية لا يمكن أن تنتقل إلى العلم لأن القوانين العلمية — على عكس الثقافة — مكتوبة بلغة الرياضيات العامة. فالعلاقة بين مربَّع وتر المثلث إلى مربعي الضلعين الآخرين له معروفة منذ آلاف السنين لدى القدماء من البابليين والمصريين والناس من حول العالم بغض النظر عن اللغة والثقافة. إنها ليست نسبية لأي شيء.

لهذا كان تحرير ويليام الأوكامي للرياضيات من أغلال عدم القابلية للتناسب وحالات حظر الانتقال (ارجع للفصل الخامس) مهمًّا جدًّا. فبعد مرور قرون على ذلك، سمح هذا لجاليليو ونيوتن بأن يقصُروا حركات الأجسام في السماء والأرض على مجموعة القواعد العددية البسيطة نفسها، والتي كانت ستُصبح مفهومةً لدى جامع الضرائب البابلي القديم، أو المنجِّم الذي من المايا، أو التاجر الأفريقي. إن الرياضيات تحلِّل المنطق إلى أبسطِ مجموعة ممكنة من القواعد، ومِن ثَمَّ ترفع العلم من كونه مجرَّد لعبةٍ أخرى حتى يصبح لغة عامة.

لكنَّ هناك فكرةً ما بعد حداثية أخرى حقيقية ومهمة بالنسبة إلى دور شفرة أوكام، رغم أنها لا تقودنا إلى المسار نفسه الذي سار عليه دعاةُ ما بعد الحداثة. إنهم يحاججون بأنه لا سبيل حقًّا لمعرفة الحقيقة. هذا شيء يُعدُّ صادمًا حتى للعلماء الذين يتعلَّمون بصفة عامة أن العلم هو مسيرة متواصلة نحو الحقيقة.

تخيَّل أن العلم كان قادرًا ذات يوم على الوصول إلى حالةٍ هانئة من المعرفة بكل شيء، أي «الحقيقة». كيف كنا لنعرف ذلك؟ معرفة الحقيقة المطْلقة تفترض سلفًا بعضَ الأساليب التي تمكِّن من استراق النظر من خلف الستار إلى الأدلة التي تقدِّمها حواسنا أو أدواتنا العلمية لرؤية العالَم «الحقيقي» عوضًا عن العالَم الذي نراه من خلال حواسنا أو أدواتنا العلمية. تفترض هذه المعرفة أن ثمَّة عالمًا تامًّا ومثاليًّا وقابلًا للمعرفة، عالَمًا من المُثل الأفلاطونية الكاملة، وهي النظرة نفسها التي دحضها ويليام الأوكامي قبل قرون عديدة. إذا ما رفضنا هذه النظرةَ للعالَم كما فعل الأوكامي فإن علينا أن نعتمد عوضًا عن ذلك على مدخلاتنا الحسِّية وربما مجموعة متنوعة ولا نهائية من النماذج عن الكون والتي يمكن أن تناسب هذه البيانات وتشرح موضعنا فيها.

إلا أن هذا لا يعني أن كل النماذج متساوية — كما يحاجج دعاةُ ما بعد الحداثة. فحين نرسم خريطة البروج، لا يراجِع المنجِّمون اعتباراتِ حالة المعبود مارس المزاجية أو عادات جوبيتر الشهوانية. بل يذهبون عوضًا عن ذلك إلى جداول الكواكب المبنية على نموذج كيبلر البسيط عن النظام الشمسي. والمؤمنون بالخوارق ينظِّمون اجتماعاتهم بالهواتف والبريد الإلكتروني، وليس بالتخاطر؛ وإن كانت اجتماعاتهم تُعقد في بلدانٍ بعيدة فإنهم يسافرون بالطائرة وليس بالتحليق في الهواء. قد يكون العلم لعبةً لغوية أو نموذجًا، لكن على عكس الغالبية العظمى من النماذج، من الخيمياء إلى فلسفة فنج شوي والطب التجانسي ومنشورات دعاةِ ما بعد الحداثة التي ترفض العلم ويتعذَّر فهمُها، فإن النماذج العلمية تعمل في واقع الأمر؛ لأنها بسيطة، ومِن ثَمَّ تقدِّم تنبؤات دقيقة.

العلم هو البساطة

تقريبًا كل العلوم، بل كل معرفتنا بالعالم من حولنا في واقع الأمر، مبنيان على منطق بايز المطبَّق على الاستقراء. وكما يشدِّد دعاةُ ما بعد الحداثة، فإن الدليل القائم على ألف ملاحظة لشروق الشمس لا يقدِّم لنا أيَّ يقين، لكنه يقدِّم لنا أرجحيةً كبيرة بأن أبسط الفرضيات — أن الشمس ستشرق غدًا — سيتبيَّن أنها صحيحة. فالاحتمال — عوضًا عن اليقين — كافٍ بالنسبة إلى العلم، وهو جوهر العلم الحديث. فالخيميائيون يجرِّبون، والمنجِّمون يحسبون، لكنهم لا يشدِّدون، لا هم ولا آلافٌ آخرون من الصوفيِّين أو الفلاسفة أو الكهنة، على قبول أبسط الحلول فحسب لأنها أيضًا الأعلى احتمالية.

بالطبع لا يرتكز العلم على البساطة فحسب. فالتجريب والمنطق والرياضيات والقابلية للتكرار والقابلية للتحقق، وكذا القابلية للدحض، تلعب جميعُها أدوارًا أساسية. كان الفيلسوف كارل بوبر (١٩٠٢–١٩٩٤) مهتمًّا بآخرِ هذه الأمور — وهي القابلية للدحض — وهي على الأرجح المعيار الأكثر استشهادًا به للتفريق بين العلم والعلم الزائف. إلا أنها لا تقدِّم ضمانًا للعلم لأن إثبات خطأ نظريةٍ ما مستحيل بقدر إثبات صحَّتها. ويعرف أيُّ عالِم تجريبي أنه حين يجري تجربة تقدِّم نتيجةً مختلفة عن تنبؤاته أنه لن يُهرع ليعلن أن نظريته المفضَّلة قد ثبَت خطؤها. بل عوضًا عن ذلك سيلفِّق أسبابًا تفسِّر ملاحظته البيانات المناقضة، وذلك عن طريق إضافة المزيد من التعقيد. وقد رأينا هذه العملية عمليًّا — في الفصل الثاني عشر — حين ابتكر أتباع الفلوجيستون أو السيال الحراري كيانات جديدة — كالوزن السالب — عوضًا عن هجرهم لنظرياتهم. ودعاة نظرية الخلق متمرِّسون في ابتكار تعقيدات غيرِ معقولة لكنها غير قابلة للدحض، والتي من شأنها أن تفسِّر حقائقَ كالسجل الحفري.

إن عدم قدرة البيانات على دحض نظريةٍ ما يتضح أيضًا في ملاحظة أن النظريات الميتة — التي من الواضح أنها دُحضت بأدلة راسخة — تُبعث في بعض الأحيان من الموت. على سبيل المثال، من المفترض أن الوراثة اللاماركية كانت قد دُحِضت بأدلةٍ من الملاحظة والتجريب أمام وراثة الصفات المكتسبة، مثل أذرع الحدَّادين الكبيرة العضلات والتي يستخدمونها في الضرب بالمطرقة. إلا أن أدلةً على وراثة محدودة لعدة صفات مكتسبة — كالتفضيلات الغذائية — برزت في تسعينيات القرن العشرين لتبعث من جديد نوعًا من الوراثة اللاماركية يُعرف اليوم باسم علم التخلُّق.[14] وفي القرن العشرين ابتكر أينشتاين عاملًا يُدعى «الثابت الكوني» ليجعل نظريته عن النسبية العامة متسقةً مع كون ثابت.

وقد تخلَّى عنه حين عُرف أن الكون يتمدَّد. لكن في القرن الحادي والعشرين، بُعث الثابت الكوني من جديد لتفسيرِ الطاقة المظلمة للفضاء نفسه. وبالمثل، كما ناقشنا في الفصل السابق، لم يدحَض أحدٌ من قبلُ قط نظريةَ مركزية الأرض لأنها ليست بخاطئة. إنها فقط لا تعمل كبديلتها. دعاة ما بعد الحداثة محقُّون — في التحليل الأخير — أنه ليس بالإمكان أبدًا إثبات صحة أو خطأ أي نظرية. لكن هذا لا يمنعنا من اختيار أبسط نظرية تتنبَّأ بالحقائق على نحوٍ صحيح. فالبساطة — وليست قابلية الدحض — هي ما يقع في العلم موقعَ القلب.

شفرة الجيب

لسنا بحاجة بالطبع لأن نرجع إلى الموقَّر بايز من أجل أن ندرك على سبيل المثال أن النموذج المركزي الشمس يقدِّم تفسيرًا أكثرَ بساطة بكثير حول مسارات الكواكب في السماء من الالتباس الذي يقدِّمه النظام المركزي الأرض؛ حيث تتداخل الدوائر بعضها مع بعض. فهذا أمر واضح. يبدو أن عقولنا تملك نزعةً طبيعية تجاه البساطة وتعيِّن بصورة تلقائية — كما حاجج عالم النفس المعرفي نيك تشيتر[15] — احتمالات أعلى للنماذج الأبسط. لكن كيف لنا أن ندرك ما هو أبسط؟ أحد الخصائص التي من السهل تقييمها هي طول التفسير. أدرك شكسبير أن «الإيجاز هو روح الحكمة»، لكنه أيضًا علامة على البساطة. فتميل الحكايات الخيالية التي يصعب تصديقها إلى أن تكون مطوَّلة. ابتكر الفيلسوف نيلسون جودمان اختبارًا معقدًا نوعًا ما لقياس البساطة النصيَّة،[16] لكن إحدى القواعد العامة الأكثر بساطة والتي تعمل بشكل ممتاز هي ما قد أُطلق عليها شفرة جيب أوكام. تَعُد هذه الشفرةُ عدد الكلمات المهمة (مع استبعاد أدوات التعريف والتنكير وحروف العطف وما إلى ذلك) اللازمة في التفسيرات أو النماذج المتنافسة، وتعاقب الأطول منها بخفض أرجحيتها إلى النصف مع كل كلمة مهمة إضافية.

إذا ما طبَّقنا هذه الشفرة على نموذجَي مسارات الكواكب، فإن تفسير مساراتها بوضع الشمس في مركز النموذج سيتطلب — لنفترض — خمسين كلمة. وتفسير المسارات نفسها بوضع الأرض في المركز ونصب كل أفلاك التدوير تلك في السماء سيتطلب — في تقديرٍ متحفِّظ — مائةَ كلمة على الأقل. طبقًا لحاسبة الجيب الخاصة بي، تقترح شفرة الجيب الخاصة بنا أن النظام المركزي الشمس تزيد أرجحيته بمقدار ٢٧٠، أو ما يقارب مليون مليار، ضِعف مقارنةً بالنظام المركزي الأرض.

حاول تطبيق شفرة جيب أوكام على سجالات أخرى عرَّجنا عليها في هذا الكتاب، كتفسير أصحاب نظرية الخلق في مقابل تفسير دعاة الانتقاء الطبيعي للحفريات أو «الأحجار المصوَّرة». من المفيد أيضًا اختبار حد هذه الشفرة على علاجات العلم الزائف كالطب التجانسي أو التداوي بالبلور، مع توضيح جدواها في مقابل عدم جدواها. ويُعَد الاحتباس الحراري وأسبابه المرجَّحة مشحذًا مثيرًا آخرَ قد ترغب في شحذ شفرة الجيب عليه.

أخيرًا، أريد أن أذكِّرك بأن شفرة أوكام — في حد ذاتها — لا تقدِّم أيَّ زعم حول بساطة الكون أو تعقيده. بل تحثُّنا عوضًا عن ذلك على اختيار أبسط النماذج التي يمكن لها أن تتنبأ بالبيانات. يمكننا أن نطلق على هذا الشكل من مبدأ البساطة اسم شفرة أوكام الضعيفة. إلا أن كثيرًا من العلماء — وبخاصة الفيزيائيون منهم — يَقبلون ما يُمكن أن يُطلق عليه شفرة أوكام القوية التي تزعم أن الكون بسيط بقدرِ ما يمكن له أن يكون، بالنظر إلى وجودنا.

هوامش

(١) مبرهنة بايز لحساب الاحتمال اللاحق في شكلها الكامل تتضمَّن ضربَ الاحتمال المسبق في قيمة الأرجحية المقسومة على احتمال الملاحظة، بغض النظر عن النظرية. وقد حذفتُ خطوةَ القسمة لأنها موجودة وحسب من أجل تطبيع قيمة الاحتمالات اللاحقة بحيث تبلغ دومًا بحدٍّ أقصى ١. وقد افترضنا أن كلتا فرضيتَي حجري النَّرد متساوية في الأرجحية؛ لذا فإن خطوة القسمة ليست ضرورية في هذه الحالة.

الفصل التاسع عشر

هل عالَمنا هو الأبسط من بين كل العوالم الممكنة؟

كلُّ ما يحدث في الطبيعة يحدُث بأقصر الطرق.

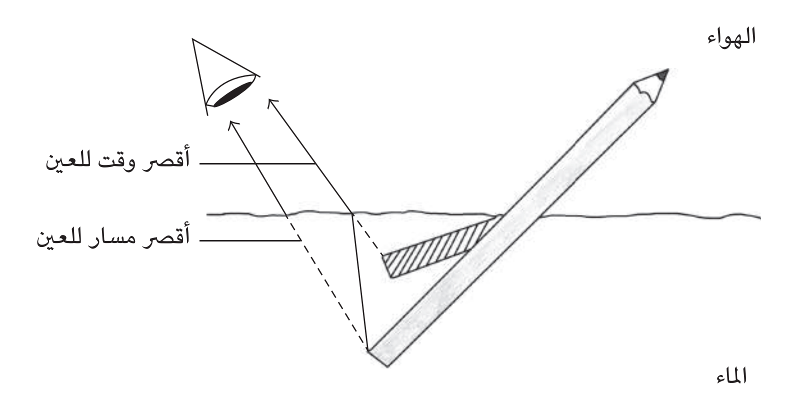
ليوناردو دا فينتشي، دفاتر الملاحظات[1]

في صيف عام ١٧٥٣ وفي مدينة برلين، كان رجل مشنقةِ المدينة يحرق الكتبَ بأوامر من فريدريش العظيم. وكانت الكلمات المطبوعة على الصفحات المشتعلة تعود لعملاقِ حِقبة التنوير الفرنسية فولتير (١٦٩٤–١٧٧٨) الذي كان مقيمًا في برلين في ذلك الوقت. وكان منشوره بعنوان «خطاب الدكتور أكاكيا» هجاءً مفرطًا لحياة وأعمال رجل فرنسي آخر يقيم في برلين ويتقلَّد منصبَ رئيس أكاديمية برلين، وهو بيير لوي مورو دي موبرتوي (١٦٩٨–١٧٥٩). وُلِد موبرتوي في العام ١٦٩٨ — قبل أربع سنوات من ولادة توماس بايز — في سان-مالو، وهو ميناء على ساحل منطقة بريتاني في فرنسا. درس موبرتوي الرياضيات في باريس، وفي العام ١٧٢٣ قُبِل في أكاديمية العلوم حيث أصبح أحدَ أنصار القوانين الميكانيكية التي اكتشفها إسحاق نيوتن على الجانب الآخر من القناة الإنجليزية. وفي ثلاثينيات القرن الثامن عشر، انخرط موبرتوي في سجالٍ حول ما إن كانت الأرض مسطحة عند خط الاستواء (منبعجة) أو القطبين (مفلطحة). وقد استخدم ميكانيكا نيوتن ليتنبأ بأن الأرض كانت مفلطحة، وذلك معارضة لرأي عالِم الفلك الفرنسي البارز جاك كاسيني (١٦٧٧–١٧٥٦). وفي العام ١٧٣٦، عيَّن لويس الخامس عشر ملكُ فرنسا موبرتوي ليقود مهمةَ استكشافية إلى لابلاند لتسوية هذا السجال. وقد أظهرت قياسات

موبرتوي لانحناء الأرض في أقصى الشمال أن كوكبنا مسطَّح بالفعل بالقرب من القطبين. وقد أذهل هذا العمل فريدريش العظيم — الذي كان قد أسَّس لتوه أكاديمية برلين — حتى إنه عرض منصبَ مدير تلك الأكاديمية على موبرتوي. وقد قبِله موبرتوي في العام ١٧٤٥.

بحلول ذلك الوقت كان موبرتوي قد أصبح مهتمًّا بمشروعٍ أكثر بروزًا: إذ فكَّر أن بإمكانه إثباتَ ما حاول الأكويني إثباته قبل خمسمائة عام: ألَا وهو وجود الرب. وقد كان الضوء يمثِّل دليلًا؛ إذ اعتقد اللاهوتي العصرأوسطي روبرت جروستيست أن الضوءَ انبثاق من الرب. قبل ذلك بقرن من الزمن، كان عالِم الرياضيات الفرنسي بيير دي فيرما (١٦٠٧–١٦٦٥) قد أمعن النظرَ في سببِ انحناء أشعة الضوء حين تنتقل من وسط إلى آخر. تلك الظاهرة التي نطلق عليها الانكسارَ مسئولةٌ عن ظهور عصًا مستقيمة (أو قلم رصاص) بشكل منكسرٍ حين تُغمر جزئيًّا في الماء. للوهلة الأولى، تتناقض هذه الظاهرة مع مبدأ البساطة؛ حيث إن خطًّا منكسرًا يشكِّل وجهَ شذوذ أكثرَ تعقيدًا من خطٍّ منحنٍ. إلا أن بيير دي فيرما كان قد اقترح بالفعل أن الضوء يقلِّص الوقت الذي يستغرقه للوصول إلى حيث يريد عوضًا عن تقليص عدد أوجه الشذوذ التي يلتقيها في طريقه. وقد جمع ذلك إلى جانب تخمينه أن الضوءَ ينتقل ببطءٍ أكثرَ في الماء ليفسِّر المسارَ المنكسر، وذلك من خلال الاقتراح أن الضوء يسلك المسار الأقصر عبْر الوسيط الأبطأ من أجل أن يقلِّص إجمالي وقت الانتقال (انظر الشكل ١٩-١). وفي العام ١٧٤٤، وصف موبرتوي مبدأً أكثرَ عمومية تحت اسم «مبدأ الفعل الأدنى»، والذي ينطبق على كلٍّ من انكسار الأشعة وانعكاسها، وفيه اقترح أن كلتا الظاهرتين تقلِّص الوقتَ مضروبًا في الطاقة، وهو ما يُطلق عليه «الفعل»، وليس الوقت فحسب.

لنستوعب المبدأ، سيكون من الأجدى أن نعود سريعًا إلى المشكلة القديمة المتمثلة في فهمِ حركة طيران السهم بعد أن يغادر قوس الرامي. كانت المشكلة قد كدَّرت أرسطو طويلًا، ما دفع جان بوريدان إلى ابتكار مفهوم القوة الدافعة كنوع من أنواع الوقود الذي يزوِّد السهم بالطاقة. إن أي رامٍ يعلم أنه لكي يُصيب هدفًا بعيدًا فإن عليه أن يوجِّه السهمَ عاليًا حتى ينتهي به السقوط على الهدف. وكل مسار للسهم يتحدَّد بصورة مميزة من خلال زاوية انطلاقه وسرعته من القوس. سيعرف الرامي المتمرِّس المسارَ الصحيح للسهم، لكن كيف «يعرف» السهم أي مسار عليه أن يسلكه بمجرد أن ينطلق من القوس



شكل ١٩-١: مبدأ الفعل الأدنى يفسِّر الانكسار الظاهر لقلمٍ مغمور جزئيًّا في الماء.

من بين بدائل كثيرة ممكنة (انظر الشكل ١٩-٢). إحدى الإجابات هي أن قوانين نيوتن تتنبأ بالمسار الصحيح والمميَّز والذي يأخذ شكل القطع المكافئ من القوس وحتى الهدف. لكن اشتملت الحسابات على قيمةٍ لمفهوم «القوة» الدائري هذا. اكتشف موبرتوي أن بإمكانه الحصولَ على المسار نفسه إذا استغنى عن تلك القوة وافترض عوضًا عن ذلك أن حركة السهم تقلِّص من «فعله» طوال رحلته.

لنتخيَّل أننا استبدلنا بقوس الرامي داسرًا يعمل بالوقود موضوعًا على قضيب السهم، وأن ذلك الداسر يحرِّك السهم في رحلته من الرامي إلى الهدف. وسنتخيَّل أيضًا أن سرعة داسر السهم واتجاهه يتحكَّم فيهما كمبيوتر صغير مدمج، ويعدِّل هذا الكمبيوتر من سرعته ومساره نحو مسارٍ من شأنه أن يقلِّص من استهلاك الوقود للرحلة بأكملها. الجدير بالذكر هنا أن المسار الذي سيسلكه السهم المحوسب سيكون هو نفسه المسار الذي سيسلكه السهم الحقيقي؛ لأن كليهما يقلِّص من الفعل.

ينص مبدأ الفعل الأدنى على أن حركة أي جسم — كالسهم أثناء طيرانه — ستسلك مسارًا من شأنه أن يقلِّص من إجمالي فعله. يعني هذا إجمالي طاقة الجسم الحركية — عند كل نقطة على طول الرحلة — الناتجة عن حركته مطروحًا من الطاقة الكامنة الناتجة عن موضعه في مجال طاقة كمجال الجاذبية الأرضية. بالنسبة إلى الحركة الناجمة عن طاقة، فإن الفعل سيتماثل تقريبًا مع كم طاقة الوقود المستهلك أثناء تلك الرحلة. وينص مبدأ الفعل الأدنى على أن الفعل بالنسبة إلى الحركة الطبيعية سيتقلَّص إلى أدنى حد.

رامٍ يمسك سهمًا
وقوسًا طويلة

المسارات البديلة
المسار الفعلي

شكل ١٩-٢: مبدأ الفعل الأدنى يفسِّر المسار الذي على شكل قطع مكافئ للمقذوفات كالسهام.

وهو يحكم مسار السهام أو الصواريخ أو الكواكب أو الإلكترونات أو الفوتونات أو أي نوع من أنواع الجسيمات أو حتى الموجات.

عِلاوة على ذلك وما هو بارز أكثر، اكتشف العلماء منذ ذلك الحين أن الكثيرَ من قوانين الفيزياء الأساسية أو معظمها يمكن استقاؤها من مبدأ الفعل الأدنى. على سبيل المثال، وبالنظر إلى حركة الأجسام الكلاسيكية كالسهام أو قذائف المدافع، فإن تقليص الفعل يحدِّد بكل دقة المساراتِ التي تنبَّأت بها قوانين نيوتن الثلاثة للحركة. وحين يُطبَّق هذا المبدأ على مقاديرَ كالطاقة أو الزخم أو الزخم الزاوي، حينها يكشف عن قوانين الحفظ الكلاسيكية بالإضافة إلى مبرهنة نويثر ونظريات المقياس الخاصة بفيزياء الجسيمات. وبالنسبة إلى الجسيمات الكمية كالفوتونات، فإن مبدأ الفعل الأدنى يقدِّم طريقةَ تكامل المسار لريتشارد فاينمان لحساب حركة الجسيمات.[١] فحين تنكسر أشعة الضوء بين عصًا مغمورة بالماء وعينِك، فإنها تنكسر على طول مسار الفعل الأدنى. ويضمن القانون نفسه أن تتبع النجوم أو الكواكب أو حتى الثقوب السوداء مساراتها للفعل الأدنى عبْر مجالات الجاذبية، وهي المسارات نفسها التي تنبأت بها نظرية أينشتاين للنسبية العامة.

إن عمومية مبدأ الفعل الأدنى الاستثنائية وقدرته على تقديم هذا الكم من القوانين «الأساسية» يشير إلى أنه مبدأ في غاية العمق ويوضِّح أننا نعيش في «كون كسول»، وذلك طبقًا لما ورد عن عالمة الفيزياء المولودة في جنوب أفريقيا جينيفر كوبرسميث. بالعودة إلى القرن الثامن عشر كان موبرتوي قد زعم أن اكتشافه أن «الطبيعة مقتصدة في كل أفعالها» أثبت وجود الرب.[2] ففي عمله المنشور عام ١٧٤٨ بعنوان «استقاء قوانين الحركة والسكون كنتيجة لمبدأ ميتافيزيقي»، قال موبرتوي: «لربما أن تلك القوانين الجميلة والبسيطة للغاية هي القوانين الوحيدة التي رسَّخ لها الخالق والمنظِّم الوحيد لكل شيء فيما يتعلَّق بالمادة بهدف التأثير على كل ظواهر العالم المرئي».

وقد سخِر المفكِّرون في جميع أرجاء أوروبا من فكرته تلك، عوضًا عن أن تتلقى الإشادة كما توقَّع. ومما زاد الطين بِلة، أن مطالبته بالأسبقية في اكتشاف مبدأ الفعل الأدنى كانت محلَّ جدال بين العديد من العلماء، الأكثر شهرة من بينهم كان عالِم الرياضيات الألماني يوهان صامويل كونينج (١٧١٢–١٧٥٧). وقد ناصر فولتير حجَّة كونينج. وحين أُجبِر كونينج الأصغر سنًّا على أن يرحل عن أكاديمية برلين بسبب نفوذ موبرتوي، غضِب فولتير ما دفعه لكتابة عمله «خطاب الدكتور أكاكيا». وقد هبَّ فريدريش العظيم لمناصرة رئيس أكاديميته بأن أمر بحرق هذا العمل. لكن شعرَ موبرتوي بالإهانة. فاستقال من أكاديمية برلين وعاد إلى باريس؛ وحين وجد فيها من الدعم القليل، انتقل إلى بازل في سويسرا؛ حيث مات في العام ١٧٥٩.

لكن التاريخ كان أكثرَ عطفًا على موبرتوي، وعادةً ما يُنسب إليه الفضل في اكتشاف واحد من أعمق المبادئ في العلوم، وهو مبدأ الفعل الأدنى. فتمامًا مثلما أن سرعة الضوء تكون واحدة بالنسبة إلى كل الراصدين، فإن مبدأ موبرتوي لا يكون نتيجة تنبُّؤ من قانونٍ أكثر عمقًا منه، بل يبدو عوضًا عن ذلك جزءًا من الركيزة الأساسية التي يقوم عليهاً كوننا. إنه شفرة أوكام «قوية» تشدِّد على أن «الفعل» لا ينبغي أن يتضاعف بما يتجاوز الضرورة، وذلك بالنسبة إلى الكون.

مع ذلك ورغم المبدأ، يظلُّ كوننا معقَّدًا للغاية في ظل وجود الكثير من «الأشياء» التي يبدو أنها تفوق الحاجة. النيوترينوات على سبيل المثال — تلك الجسيمات التي تنبأ بها إنريكو فيرمي في العام ١٩٣١ — أعدادها غفيرة بصورة استثنائية، إلا أنها بالكاد تتفاعل مع أي جسيم آخر، ومِن ثَمَّ فإن تريليونات منها تمرُّ عبْر جسدك في كل ثانية من دون أن يحدث لها أي شيء. ألن يكون الكون أكثرَ بساطة من دون تلك الجسيمات؟ عِلاوة على

ذلك وكما اكتشفنا، ورغم أن نظرية «النموذج المعياري» بسيطة نسبيًّا حيث يوجد بها سبعة عشر جسيمًا فحسب، فإن بالإمكان جعلها أبسط. فما هي جدوى أغلبية الكواركات واللبتونات في المجموعتين الثانية والثالثة من نظرية المقياس والتي لا تسهم بأي دور في المادة العادية؟ على الأرجح أنك سمعت كذلك بكيانين آخرين يبدوان أنهما يفوقان حدَّ الضرورة بصورة فجة: وهما المادة المظلمة والطاقة المظلمة اللتان يتكوَّن منهما معظم الكون. لماذا لم يقلِّص الكون — لربما تحت وطأة مبدأ الفعل الأدنى — كلَّ تلك الأشياء الزائدة عن الحاجة؟

لكي أقدِّم مبرِّرًا لزعمي أن الكون بسيط بقدرِ ما يمكن له أن يكون، عليَّ أولًا أن أجد أدوارًا للكثير من الكيانات التي يبدو أنها تفوق الضرورة. وسنبدأ بحثنا في موقع إحدى الكوارث التي وقعت قديمًا.

الشتاء قادم

قبل ستة وستين مليون سنة، في الفترة التي نعرفها باسم العصر الطباشيري المتأخر (١٠٠–٦٦ مليون سنة مضت) كان المناخ والمحيطات أكثرَ دفئًا مما نعهدهما اليوم، ما أدَّى إلى حياة حيوانية متنوعة ووفيرة على اليابسة وفي البحر. وفي المحيطات، نجد أن المنخربات الشائكة (التي هي كالأميبا لكن مع وجود غلاف محاري) التي تغذَّت على الميكروبات الضوئية التخليق والطحالب قد عاشت وماتت وتحجَّرت لتصبح السفوحَ المتدرِّجة لتلال نورث داونز الطباشيرية في سوري التي وطِئتها قدما ويليام الأوكامي على الأرجح حين كان طفلًا. وقد تغذَّت مفصليات الأرجل والرخويات والديدان وشقائق النعمان والإسفنجيات وقناديل البحر وشوكيات الجلد والسهميات الشبيهة بالحبار وأقاربها الرأسية الأرجل على المنخربات حتى غاصت أغلفتها المحارية إلى قيعان البحار، لتصبح بعد ملايين السنين الأحجارَ المصوَّرة التي حيَّرت علماء الطبيعة من القرن الثامن عشر الذين تأمَّلوا في أصل الأنواع. وعلى قمة سلسلة الغذاء في المحيطات كانت الأسماك والزواحف البحرية كالبليزوصورات الطويلة العنق والموساصوريات العملاقة التي استخرج ماري آننج هياكلها العظمية المتحجِّرة من منحدرات دورسيت. وعلى اليابسة، أخذت الديناصورات العاشبة كالهادروصوريات البطيات المنقار والتريسيراتوبسات المنقارية تتجوَّل عبْر الغابات الصنوبرية أو تخوض في المستنقعات التي تعجُّ بالحشرات التي تلقِّح النباتات الوافرة الأزهار. لم تكن قط صيحاتُ المفترِسات الأرضية الكبيرة كالتيرانوصور ركس على

اليابسة ببعيدة، فيما كانت العظايا المجنَّحة، ومنها العديد من التيروصورات، تصطاد من السماء.

لكن كل هذه المخلوقات كانت على وشْك أن تُصبِح منقرضة. لقد انحرفت صخرة يبلغ عرضها عشرة كيلومترات عن مدارها — وهي التي كانت تتحرَّك في سلام عبْر حافة نظامنا الشمسي لمليارات السنين — بفعل انحناء في الزمكان سبَّبته كتلة الأرض. ذلك الانحناء الذي نعرفه باسم الجاذبية حوَّل مسارَ الصخرة إلى مسار على شكل قطع مكافئ والذي كان جاليليو سيعجب به، لكنه كان مسارًا يتقاطع مع القشرة الأرضية الرقيقة لكوكبنا. وفي الثواني الأخيرة قبل الاصطدام، تسارعت الصخرة لتصل إلى سرعة عشرة كيلومترات في الثانية الواحدة، أي أسرع بعشرين مرة تقريبًا من رصاصة منطلقة.

أيُّ ديناصور صادف أنه رفع رأسه إلى السماء في تلك اللحظات المصيرية كان سيرى كرةَ نار أسطعَ بكثير من الشمس تندفع عبْر السماء. ثم كان سيعقبها وميضُ ضوء شديد بينما يصطدم المذنَّب بخليج المكسيك، مبخِّرة في لحظة واحدة حوالي ألف ميل مكعب من الصخور ومسيِّلة مساحةً شاسعة من القشرة الأرضية، ناحتة فوَّهة عرضُها ١٨٠ كيلومترًا وعمقها كيلومتران. وقد كوَّنت تلك الكتلة الحجرية سحابةً كثيفة من الغبار حجبت الشمس؛ الأمر الذي بدأ شتاءً قاتلًا دام طيلةَ عقود.

جرى محو ما يقارب من ٨٠ بالمائة من كل الأنواع على سطح كوكبنا، ومنها الديناصورات (عدا أبناء عمومتهم، وهم الطيور) فيما يُعرف ب «أسوأ عطلة نهاية أسبوع مرَّت في تاريخ العالَم». إلا أنها لم تكن هي الأسوأ في واقع الحال. فقد كان ثمَّة خمسُ عمليات انقراض جماعي في تاريخ كوكبنا ومجموعة من عمليات الانقراض الأصغر نطاقًا. كان الانقراض البرمي الثلاثي الذي وقع قبل نحو ٢٥٠ مليون سنة أكثرَ تدميرًا بكثير؛ حيث أعقم الأرض تقريبًا بإبادة حوالي ٩٦ بالمائة من كل الأنواع المعروفة، وهي نسبة صاعقة. في واقع الحال، كانت سلسلةٌ من عمليات الانقراض الجماعية قد أعاقت بصورةٍ منتظمة التقدُّم المتروي للانتقاء الطبيعي على كوكبنا.

وجد عالِما الحفريات ديفيد إم روب وجيه جون سيبكوسكي من جامعة شيكاغو أدلةً على وجود نمط لعمليات الانقراض الجماعي بحيث تقع نحو واحدة منها كل ٢٦ مليون سنة. وحيث لا توجد دوراتٌ أرضية معروفة تستغرق مثل هذه الفترات الطويلة، فإن اكتشافهما أطلق بحثًا عن الإجابات في السماء. وأحد أكثر تلك الإجابات إثارة للجدل هي النظرية التي قدَّمها عالِما الفيزياء النظرية ليزا راندال وماثيو ريس من جامعة

هارفرد بماساتشوستس. يجادل هذان العالِمان بأن المادة المظلمة قتلت الديناصورات.[3] اقترح كلٌّ من راندال وريس أن دوران نظامنا الشمسي حول المجرة بصورة دورية يقرِّبه من قرصٍ رفيع من المادة المظلمة في المستوى المجري الذي يغيِّر مدارات الكويكبات والمذنبات مما يجعلها ترسل وابلًا من الصخور المدمِّرة باتجاه الأرض.

للوهلة الأولى، قد يبدو أن النيوترونوات والمادة المظلمة كيانان فائضان عن الحاجة في كوننا، خاصة بالنسبة إلى الديناصورات. ولكي نكتشف لماذا من دونهما ما كنا لنُوجَد نحن ولا الديناصورات، فإننا بحاجةٍ لسبر أغوار أصول المادة، وتنوعاتها الحية بصفة خاصة.

يتطلب الأمر مجرةً من أجل إنشاء كوكب

في العام ١٩١٥، طبَّق ألبرت أينشتاين نظريةَ النسبية العامة على الكون بأكمله. ولدهشته، اكتشف أن الكون الذي تنبَّأت به النظرية لم يكن ساكنًا؛ إذ ينبغي له أن يكون في حالةِ إما تمدُّد أو تقلُّص. ولكي يعكس عدمَ الاستقرار هذا وينشِئ كونًا ثابتًا، أضاف أينشتاين ثابتًا كونيًّا، وهو نوعٌ من أنواع طاقة الفضاء يقدِّم شكلًا من أشكال الضغط ضد التقلُّص. لكن، في العام ١٩٢٩، قاس عالِم الفلك إدوين هابل سرعاتِ المجرات واكتشف — لدهشته — أن كل المجرات تقريبًا تتحرَّك مبتعدةً عنا؛ حيث إن الكون في حالة تمدُّد. فتخلَّى أينشتاين عن ثابته الكوني، وقال إنه «أكبر حماقة» له في حياته.

إن كان الكون في حالة تمدُّد في المستقبل فلا بد أنه كان أصغرَ بكثير في الماضي. فإذا ما أخذنا الكونَ الحالي وأدرنا عقاربَ الساعة إلى الوراء، يمكننا أن نتوقَّع أن كل المادة في الكون قبل نحو ١٣٫٨ مليار سنة — حين كان عمر كوننا ثانية واحدة فقط — انسحقت إلى كرة فائقة الحرارة تقريبًا بحجم تفاحة وكانت مملوءة بغاز من جسيمات أولية من نوعٍ ما. ثمَّ تمدَّد هذا الكون الذي في حجم تفاحة أثناء الانفجار العظيم ليقدِّم وميضَ الإشعاع الذي رصده كلٌّ من آرنو بينزيس وروبرت وودرو ويلسون بعد ذلك بنحو ١٣٫٨ مليار سنة بهوائي البوق الموضوع على قمة تل في نيو جيرسي. إلا أن بينزيس وويلسون ما كان لهما ليكونا على قمة ذلك التل، وما كان ليكون ثمَّة تل أو نيو جيرسي لولا وجود النيوترونوات.

أول الأدوار التي لعبتها النيوترونوات في وجودنا كان المساعدة في إشعال النجوم. فمع استمرار تمدُّد الكون بعد وقوع الانفجار العظيم، بدأ الهيدروجين وكمياتٌ صغيرة من

الهيليوم يتَّحدان تحت تأثير جاذبيتهما لتكوين النجوم الأولية. في بداية الأمر، كانت تلك النجوم أجسامًا مظلمة، لكن مع زيادة كثافتها، انصهرت بروتونات الهيدروجين لتكوِّن أنوية الهيليوم التي أشعلت الأفران النووية للنجوم وأطلقت أولى دفقات الضوء النجمي للكون. النيوترونوات أساسية لهذا التفاعل. والحاجة إليها مرجعها الوفاء بأحد قوانين الحفظ تلك التي تتطلبها مبرهنة إيمي نويثر؛ في هذه الحالة قانون حفظ اللبتونات. يتطلَّب القانون أن يظلَّ العدد الإجمالي للبتونات (الإلكترونات، والميوونات وجسيمات التاو والنيوترونوات) ثابتًا. يمكن أن يحدث هذا فقط في الانصهار النووي النجمي عبْر إطلاق أعداد هائلة من النيوترونوات في الانفجارات النجمية. لذا وبعيدًا عن كون النيوترونوات فائضة عن الحاجة، لو أنها لم تكن موجودة لكان الكون مظلمًا ولا حياة فيه.

كما لعِبت النيوترونوات أيضًا دورًا مهمًّا في توزيع العناصر الضرورية للحياة على المناطق التي قد تنشأ فيها حياة. أنتج الانفجار العظيم الهيدروجين والهيليوم، لكن لم يُنتج الكربون ولا النيتروجين ولا الفوسفور ولا الكبريت. تلك العناصر الأثقل الضرورية للحياة أُنتجت بفعل التخليق النووي داخل الأجزاء الداخلية الفائقة الحرارة في النجوم، لكن لم تستطِع الحياة الوصول إليها فيما ظلت حبيسة داخل أكثرِ أجسام كوننا سخونة وحرارة. وهنا صنعت تلك النيوترونوات الصغيرة فارقًا كبيرًا آخر.

يتوقَّف مصيرُ النجوم على حجمها وتكوينها. لو كان حجمها صغيرًا كشمسنا، فإنها حين ينفد منها الوقود الهيدروجيني تتمدَّد لتشكِّل نجومًا حمراء عملاقة قبل أن تتقلَّص لتصبح نجومًا قزمة بيضاء تحبِس مرة أخرى كل عناصرها الثقيلة الثمينة والضرورية للحياة. لكن النجوم العملاقة والتي تصل في أحجامها إلى أكبرَ من حجم شمسنا بعشرة أضعاف فإنها تنزِع لأن تنطفأ محدِثة انفجارًا أكثرَ من نزعتها نحو أن تحدِث أنينًا. وجاذبية تلك النجوم تجعل منها مفترسة، فتبتلع النجوم الأصغر القريبة منها في حلقةِ تغذية راجعة إيجابية فيما يتعلَّق بالجاذبية، وذلك حتى تنهار لتكوِّن نجمًا نيوترونيًّا. قد يتكثَّف مركز نجم نيوتروني هائل بصورةٍ أكبرَ ليُصبح ثقبًا أسودَ، ما يحبس ثانيةً كلَّ عناصره الضرورية لوجود الحياة. لكن وفيما ينهار النجم النيوتروني، فإنه يطلق موجةً صادمة تحدِث تمدُّدًا في الغلاف الخارجي للنجم والذي يتداعى بدوره في البداية، لكنه بعد ذلك يُعاد إشعاله حين يطير دفق من النيوترونوات من لبِّه. هذا الإشعال الناتج عن النيوترونوات هو ما يَخلق أكثرَ أحداث كوننا طاقةً، وهو انفجار مستعِر أعظم، كمثل ذلك الذي لاحظه تايكو براهي في العام ١٥٧٢.

والمستعِر الأعظم مسئول عن إرسال العناصر الثقيلة كالكربون والأكسجين والفوسفور والتي هي كلها ضرورية لوجود الحياة إلى المناطق الباردة؛ حيث يمكن للحياة أن تستفيد منها، كما يحدث على كوكبنا. قد يبدو هذا مبتذلًا في أيامنا هذه، لكن وكما غنَّت جوني ميتشل في العام ١٩٧٠، فإننا فعلًا مخلوقون من غبارٍ نجمي موزَّع عبْر أعداد هائلة من النيوترونوات البالغة الصِّغر. كان الكون سيصبح مكانًا كئيبًا للغاية من دون تلك الجسيمات المحايدة التي تكاد تكون عديمة الكتلة، وفي ذلك هي بعيدة كل البعد عن كونها كياناتٍ فائضة عن الحاجة.

المادة والطاقة المظلمة

تشكِّل المادة المظلمة — وهي المادة التي ربما كانت مسئولة عن إبادة الديناصورات — ما يقارب ٢٧ بالمائة من الكون. أما نسبة الـ ٦٨ بالمائة الضخمة المتبقية من الكون، فهي تتكوَّن من كيان غامض آخرَ يُعرف باسم الطاقة المظلمة. والشمس والنجوم والكواكب مسئولة عن ٥ بالمائة فقط من المادة والطاقة. فلمَ بدَّد الكون الكثيرَ من موارده بهذا الشكل في صناعة الكثير من هذه الأشياء المظلمة التي يبدو أنها فائضة عن الحاجة؟

في واقع الأمر، إن المادة المظلمة ليست على الإطلاق فائضةً عن الحاجة؛ فقد لعِبت دورين رئيسيَّين على الأقل في وجودنا. الدور الأول كان في شكل المساعدة في إنشاء المجرات. كان أمرُ إنشاء المجرَّات هذا محيرًا؛ لأن إشعاع الخلفية الكونية — كما أوضح نيل توروك (ارجع للمقدمة) — في غاية السلاسة، مما يشير إلى أن الكون لدى ولادته كان في غاية البساطة؛ حيث كان في غاية السلاسة والرتابة بعض الشيء. ولو ظلَّ على ذلك المنوال، لما نشأت المجرات والنجوم. لكن إذا ما فحصنا إشعاعَ الخلفية الكونية (ارجع إلى الشكل ٢) فحصًا متأنيًا وركَّزنا على أوجه عدم الانتظام فيه، فسيمكننا تمييزُ تكتلات ومجموعات ونسائل من مادة أكثرَ كثافة قليلًا. يبدو أن المادة المظلمة لعبت دورًا محوريًّا باضطلاعها بدور عامل التخثُّر الذي ساعد في تكتُّل الغاز المنتشر وتحوُّله إلى السُّحب المتكتلة التي أصبحت المجرَّات والنجوم والكواكب وفي نهاية المطاف، نحن.

برز الدورُ الآخر للمادة المظلمة من الملاحظة التي تقول بأن المجرات القديمة كمجرتنا درب التبانة مستمرةٌ في صنع نجوم جديدة بوتيرة تصل إلى نحو نجم واحد في كل عام، وذلك على أطرافها في الغالب. يمثِّل هذا الأمر لغزًا؛ حيث كان يُعتقد أن المادة الخام لصنع النجوم تكوَّنت في غالب الأحيان أثناءَ الانفجار العظيم، وأنها استُنزفت بحلول الوقت

الراهن. صحيح أن المستعِرات العظمى تلعب دورًا مهمًّا في إعادة تدوير المادة النجمية، لكن حين تنفجر تلك المستعِرات فإن «مقذوفاتها» تندفع في الفضاء بسرعةٍ تصل إلى ألف كيلومتر/ثانية. تذكَّر أن الفضاء هو في الغالب فضاء. لذا لا يوجد شيء تقريبًا يمكنه إيقاف بقايا المستعِرات العُظمى، بكلِّ ما تحويه من عناصرَ ثقيلة ضرورية للحياة — ومنعها من الاندفاع بعيدًا عن مجرتنا وضياعها للأبد في الغياهب الشاسعة للفضاء بين المجرات. لو كان هذا هو مصير معظم مقذوفات المستعِرات العُظمى، لتجرَّدت المجرات من غازاتها وغبارها البينجمي منذ وقت طويل مضى، مما يسبِّب تعطُّل محرِّكات صنْع النجوم.

والسبب في أن ذلك لم يحدث اتضح بفعل ملاحظةٍ أبدتها عالِمةُ الفلك الأمريكية فيرا روبن. وُلدت فيرا في العام ١٩٢٨ وأصبحت مفتونةً بالفلك مذ كانت في نحو العاشرة من عمرها. وحين بلغت الرابعة عشرة، أنشأت تلسكوبها الخاص بها، وبحلول الوقت الذي غادرت فيه المدرسة، استقر في نفسها إصرارٌ على أن تحترف علم الفلك. لكن كان هذا في أربعينيات القرن العشرين، ولم تكن السلوكياتُ تجاه النساء في المجالات العلمية في أمريكا بأفضلَ من السلوكيات التي جابهتها إيمي نويثر في ألمانيا. فحين تقدَّمت فيرا لتتخصَّص في العلوم في كلية سوارثمور بولاية بنسلفانيا، سألها موظَّف طلبات التقديم عن المسار المهني الذي ترغب في اتباعه. فقالت إنها تطمح لأن تصبح عالِمة فلك. بدا الشك على ملامح المحاوِر وسألها إن كان لديها أيُّ اهتمامات أخرى. أجابت فيرا بأنها يروق لها أن ترسم. فردَّ المحاوِر: «هل فكَّرت من قبلُ قط في مسارٍ مهني ترسمين فيه صورًا للأجسام الفلكية؟»[4] وأصبح مقاله هذا دُعابة مفضَّلة لدى الأسرة. فمتى ارتكب أحدهم خطأً كان أحدهم يتهكم منه قائلًا: «هل فكَّرت من قبلُ قط في مسار مهني ترسم فيه صورًا للأجسام الفلكية؟».

إلا أن فيرا لم تعبأ بتلك النصيحة المبكِّرة في حياتها المهنية، وأصبحت أحدَ أبرز علماء الفلك في جيلها. ففي العام ١٩٦٥ اضطلعت بوظيفةٍ في مؤسسة كارنيجي البارزة بواشنطن؛ حيث باشرت هي وزميلها كينت فورد مشروعًا لقياس توزيع الكتلة داخل المجرات من خلال قياس سرعة دوران النجوم. تشدِّد قوانين نيوتن على أن قوة الجاذبية تتناسب مع الكتلة؛ وحيث كان من المفترض أن تكون معظم كتلة المجرة متركزة في حوصلتها المركزية، كان من المتوقَّع أن تدور النجوم الداخلية بسرعة، والنجوم الخارجية على نحوٍ أبطأ، تمامًا كما تدور الكواكب الخارجية حول الشمس بصورة أبطأ بكثير من الكواكب الداخلية.

لكن حين قاست كلٌّ من روبن وفورد دوران النجوم في مجرة المرأة المسلسلة القريبة، وجدتا أن المسافة بين أي نجم ومركز المجرة لم تؤثِّر على سرعته مطلقًا. عوضًا عن ذلك، كانت النجوم الخارجية تدور بالسرعة نفسها التي تدور بها النجوم الأقرب إلى المركز. في بداية الأمر، لم تصدِّق روبن البياناتِ، لكنها أعادت هي وفورد إجراءَ القياسات على المزيد والمزيد من النجوم وحصلتا على النتائج نفسِها تمامًا. فخلصتا في نهاية المطاف إلى أن المجرات الحلزونية كانت تشمل مادةً يبلغ حجمها نحو ستة أضعاف تلك التي تشملها النجوم الظاهرة، وأن تلك المادة المظلمة مسئولة عن تسارع النجوم الخارجية في مجرة المرأة المسلسلة.[5] ولاحقًا تأكدت ملاحظات كلٍّ من روبن وفورد بفعل الكثير من الملاحظات الأخرى للمجرات البعيدة. وقد بدت كل مجرة من تلك المجرات وكأنها محاطة بهالة من مادة مظلمة باردة غير مرئية.

إن استمرار تكوُّن النجوم يعود إلى هذه الهالة الخفية من المادة المظلمة. تعمل هذه الهالة عملَ درعِ الجاذبية التي تحرِّف مسارَ معظم مقذوفات المستعِرات العظمى لتعيدها إلى داخل المجرة ثانية. وهناك يمكن لها أن تتكثَّف لتكوِّن نجومًا جديدة، كالشمس مثلًا، وكذلك أيضًا الكواكب الصخرية كالأرض. نحن نتاج مقذوفات النجوم المنفجرة؛ لكننا كنا بحاجة للمادة المظلمة لتوجيه عناصرها الكثيفة نحو المناطق الصالحة للحياة.

بعد أن وجدنا دورًا للمادة المظلمة في وجودنا، هل بإمكاننا إيجادُ دور للطاقة المظلمة؟ ليس بعد. فهي تظل في غاية الغموض. والعلامة الوحيدة على وجودها هي الاكتشاف المذهل القائل بأن تمدُّد الكون يبدو أنه مطرد. لكن وبالأخذ في الاعتبار أننا لا نعرف شيئًا عن طبيعة الطاقة المظلمة، فليس من الممكن التكهُّن بالدور الذي تلعبه في وجودنا، لكن لو كنت محقًّا، فسيكون لها دور بالتأكيد.

ولا يبقى في كوننا إلا مجموعةٌ ضئيلة من الأشياء المرشحة لأن تكون فائضةً عن الحاجة. تختلف جسيمات المادة في الجيلين الثاني والثالث في نظرية النموذج المعياري عن جسيمات الجيل الأول فقط من حيث الكتلة، وتبدو وكأنها تفوق الضرورة، ذلك أنها ليست موجودة في المادة الاعتيادية القياسية. وقد لا تزال ثمَّة أدوارٌ لتُكتَشف، ربما في صنْع العناصر الكثيفة بداخل النجوم أو في المستعِرات العظمى أو في تخليص كوننا من المادة المضادة القاتلة.[6] أيضًا ولكي يكون الكون بالشكل الذي هو عليه الآن، ينبغي على قوانين الفيزياء أن تميِّز بين الجسيمات والجسيمات المضادة، هذا بالإضافة إلى تقدُّم الزمن للأمام وتقهقره للخلف. يبدو أن ثلاثة أجيال من الجسيمات هي الحد الأدنى اللازم لكي يجري الكون هاتين التفرقتين.

لذا، ورغم وجود بضعة أمور عالقة، يظل من المرجَّح أننا نعمُر كونًا هو أقرب إلى كونِه بسيطًا بقدرِ ما يمكن له أن يكون فيما يظلُّ أثناء ذلك صالحًا للسكنى. لكن لماذا؟ لكي نتطرق إلى هذا السؤال، ينبغي لنا أولًا أن نتناول مشكلة من مشكلات الضبط.

عملية الضبط الدقيق

نظريةُ النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات لا تشمل فحسب الجسيمات كالكواركات أو الإلكترونات أو الفوتونات والقوى التي تعمل فيما بينها، بل تشمل أيضًا بعضَ الأعداد المستبعَدة كثيرًا. تشمل تلك الأعدادُ كتلَ كل الجسيمات الأولية، بالإضافة إلى قوة القوى التي تعمل فيما بينها. ولا تتنبأ أيُّ نظرية بهذه القيم. عوضًا عن ذلك يجري ملاءمتها مع البيانات المستخرَجة من مصادمات الجسيمات بالطريقة نفسها تقريبًا التي اتبعها بطليموس في ملاءمة أفلاك التدوير عنده مع البيانات الفلكية قبل ألفي عام. وهذه القيم اعتباطية على حد علمنا.

تذكَّر لعبة النَّرد الخيالية التي لعِبها عالِما إحصاء تانبريدج ويلز، بايز وبرايس. تخيَّل أن الموقَّر بايز يحتفظ بكل أوراقه المهمة في خزنةٍ مؤمنة بقفل رقمي له عشرة ألسنة دوارة، وينبغي تدوير كلٍّ لسان إلى رقمٍ بعينه بين الرقمين صفر و٦٠ قبل أن يُفتح بابها. لكن الموقَّر أخطأ في إدخال الأرقام، ولا يمكنه فتحُ القفل. وتمامًا حين يئس الموقَّر من إمكانية حصوله على أوراقه ثانية أبدًا يزوره السيد برايس. ويصدف أنه أحضر معه حجرَ نَردِه ذا الستين وجهًا، ولكي يشتِّت انتباه بايز ويلهيه عن غضبه، يقترح عليه أن يلقي بالنَّرد ليرى إن كان بالإمكان اكتشافُ أرقام القفل من خلاله. بالطبع يساور الشكُّ بايز كثيرًا، لكنه يوافق أن يجري تلك المحاولة حيث يفتقر إلى أي بديل آخر. يلقي برايس بالنَّرد فتظهر الأرقام ٥٥، ٢٣، ٤٨، ٥، ٧٦، ٢٢، ٣٥، ٥٩، ٤١، ٨. يحرِّك بايز ألسنةَ القفل على هذه الأرقام ويُذهل حين يكتشف أنها فتحت القفل.

الذهول الذي أُصيب به بايز مبرِّره قوي. فاحتمالية أن يأتي برايس عشوائيًّا بالأرقام الصحيحة هي ٦٠ أس ١٠، أي $٦٠^{١٠}$. ولكي أصيغ الأمر بكلماتٍ أخرى، احتمالية أن يأتي برايس بهذه الأرقام بعينها تساوي ٦٠٠ مليون إلى واحد. بالطبع قد يكون مرات إلقاء برايس للنَّرد مجرد حظ مطْلق، لكن الموقَّر بايز سيبحث على الأرجح عن تفسير أبسط، كأن يكون الأمر خدعة مثلًا.

وبالمثل فإن قيمَ الثوابت الأولية في غاية الندرة، وهي أرقام مستبعَدة إلى حد كبير، لكن قيمتها الدقيقة ضرورية بالنسبة إلى وجودنا. انظر على سبيل المثال إلى كتل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات التي تشكِّل الذرَّات. إننا إذا ما عيَّنا القيمة ١ إلى كتلة البروتون فإن وزن الإلكترون يساوي ٠٫٠٥٤٣ بالمائة من كتلة البروتون، في حين تبلغ كتلة النيوترون ١، ككتلة البروتون. ليس لدينا من سببٍ نعرفه يفسِّر أيًّا من هذه الكتل، لكن لو غيَّرنا أيًّا منها ولو بمقدارٍ في غاية الضآلة لما وُجِدنا.

على سبيل المثال، كتلة النيوترون ليست هي نفسها كتلة البروتون بحيث إذا ما حدَّدنا كتلةَ البروتون النسبية بدقة أكبر إلى ١٫٠٠٠ فإن كتلة النيوترون ستساوي ١٫٠٠١، أي أثقل من البروتون بنسبة ٠٫١ بالمائة فقط. أليس هذا غريبًا بعض الشيء؟ الأمر وكأن أحدَ الآلهة أو قوانين الفيزياء أمرَ أن تكون كتلتَا تلك الجسيمات متساويتين، لكنَّ أحدَهم حسبهما بصورة خاطئة بفارق ضئيل. ربما لا يهم ذلك، أليس كذلك؟ في واقع الأمر، هو مهمٌّ بصورة هائلة؛ حيث إن نسبة الاختلاف البالغة ٠٫١ بالمائة هذه مسئولةٌ عن شخصية النيوترون المزدوجة الغريبة كشخصية جيكل وهايد، والتي هي ضرورية وأساسية في كون العالَم على ما هو عليه.

نتناول أولًا شخصية هايد المعقَّدة البغيضة. النيوترونات الحرة تكون عاليةَ الإشعاع وتنحل سريعًا إلى بروتون وإلكترون ومضاد نيوترينو مع متوسط عمرٍ يبلغ خمس عشرة دقيقة تقريبًا. وهذا انحلال سريع للغاية، أسرع من انحلال عنصر عالي الإشعاع حتى كالبلوتونيوم بـ ١٦٠٠ مرة. ويعود عدم ثبات النيوترون إلى أن كتلته الضئيلة الإضافية هذه تكون كافية تمامًا لانحلاله إلى كلٍّ من بروتون وإلكترون، بالإضافة إلى نيوترينو يكاد يكون منعدم الكتلة. ويلعب هذا التفاعل دورًا محوريًّا في تفاعل الاندماج النووي النجمي المسئول عن التخليق النووي للعناصر الثقيلة الضرورية للحياة. لكن تشكِّل النيوترونات أيضًا ما يقارب ٢٠ بالمائة من كتلة أجسامنا. وإن كانت النيوترونات الموجودة في الذرات بداخل أجسامنا بهذا القدرِ من الإشعاع فإن لحمنا كان ليتفكك وينحلَّ في غضون دقائق.

وتعود حقيقةُ أن لحم أجسادنا لا يتساقط عن عظمنا إلى شخصية جيكل المهذَّبة التي تتبناها النيوترونات حين تكون عالقة داخل الذرات. هنا، تلك الكتلة الضئيلة الإضافية التي كانت كافية للسماح للنيوترونات بالانحلال خارج الذرة تصبح غيرَ كافية بما يسمح بوقوع الحدث نفسه بداخل الذرة. والسبب في ذلك أنه من أجل أن يحدُث الانحلالُ ينبغي أن تتمتَّع تلك الكتلة بطاقة كافية للتغلب على القوى النووية الإلزامية المفعول. ويتطلب

هذا نسبةً ضئيلة إضافية من الطاقة أكثرَ من تلك التي توفِّرها الكتلة الإضافية ذات نسبة ٠,١ بالمائة. وهكذا تكون النيوترونات مهذَّبة ومستقرة بداخل الذرات. لكن إن كان النيوترون أثقلَ مما هو عليه بنسبة ٠,١ بالمائة، أي أثقل من البروتون بنسبة ٠,٢ بالمائة فقط، فإن النيوترونات ستنحلُّ بداخل الذرات، وسيكون من المستحيل تشكُّل المادة بالشكل الذي نعرفه بها.

ولن تكون الأمور أفضلَ بأي حال إن كانت النيوترونات أخفَّ مما هي عليه بمقدار ضئيل. فإذا ما كان النيوترون أقلَّ كثافة من البروتون بمقدار ضئيل، فإن النيوترونات الحرة ستكون مستقرة بحيث تصبح هي المنتَج الأساسي الناتج عن الانفجار العظيم، عوضًا عن البروتونات. والنيوترونات تكون غيرَ مشحونة؛ لذا فإنها وعلى عكس البروتونات تكون غيرَ قادرة على جذب الإلكترونات السالبة الشحنة لتكوين ذرات هيدروجين مستقرة والتي تشكِّل بدورها النجوم. إن كونًا افتراضيًّا تهيمن فيه النيترونات المستقرة سيكون كونًا من دون ذرات أو مادة أو نجوم أو من دوننا نحن البشر. تلك الكتلة الإضافية الضئيلة ليست ضرورية فحسب، بل من الضروري أن تكون موجَّهة في الاتجاه الصحيح.

تعجُّ الفيزياء بكل هذه «المصادفات» والقيم الغريبة التي تبدو أنها مضبوطة على نحو دقيق مع متطلبات كونٍ قادر على احتضان الحياة. أول مَن أدرك هذا كان مجموعة من العلماء، منهم الفيزيائيان الأمريكيان فرانك تيبلر وجون بارو اللذان ألَّفا كتاب «المبدأ الكوني الأنثروبي»[7] في العام ١٩٨٦. يُبرِز هذان العالِمان الكثيرَ من قيم المتغيِّرات والمصادفات في الفيزياء والتي ليس لها تفسير لكنها أساسية بالنسبة إلى وجودنا. إذا ما عُدنا إلى قياس القفل البايزي، يبدو الأمر وكأن كونًا قادرًا على احتواء الحياة — كالكون الذي نسكنه — اعتمد على إلقاء أحجارِ نَردٍ عديدة متعددة الأوجه، بحيث تسقط على الرقم المناسب بما يقدِّم مجموعات الأرقام التي تفتح مئات الخِزَن. ومحاولة فهْم كيف وصل الكون إلى هذه القيم تُعرف باسم مشكلة الضبط الدقيق.

يدفع بارو وتيبلر بأن هذه القيم المستبعَدة بصورة استثنائية لا يمكن أن تفسِّرها إلا حقيقةُ أننا نعيش في «كون أنثروبي» بمعنى أن الثوابت الأساسية لو كانت تحمل قيمًا مختلفة فإننا ما كنا لنُوجَد لنتحسَّر على عدم وجودنا. والمبدأ الأنثروبي لا يفسِّر القيمَ المستبعَدة، إنما يقبل فحسب فكرةَ أنها ضرورية للوجود. ولا يفسِّر كذلك كيف وصل الكون إلى مجموعة ثوابته الأساسية المضبوطة بدقةٍ ولا مَن، أو ما، الذي ألقى بالنَّرد.

يبدو أن هناك عددًا محدودًا فحسب من الاحتمالات. يرى المؤمنون بوجود إله أن أوجهَ المصادفة الكونية هذه دليلٌ على وجود يدٍ إلهية تقلب ألسنةَ القفل بوعي وإدراك إلى

الأرقام الدقيقة، تمامًا كما حاجج ويليام بيلي بأن صانع ساعات مقدَّس لا بد أنه هو مَن صاغ التراكيبَ البيولوجية المعقَّدة كالعين مثلًا. تُطِلُّ علينا ثانية هنا حجةُ إله الفجوات والتي لا تحُلُّ شيئًا في واقع الأمر، بل تمرِّر التبرير فحسب من الكون المعروف إلى إله وجوده مفترض.

الحل الآخر هو نظريةُ الكون المتعدد، التي تُعرف أيضًا بنظرية العوالم المتعددة أو نظرية الكون الموازي. تقترح هذه الفكرة — والتي تشتهر بين أوساط محبي الخيال العلمي — أن ثمَّة عددًا ضخمًا، وربما كان لا نهائيًّا من الأكوان الموازية، لكلٍّ منها قيمٌ مختلفة للثوابت الأساسية. معظم هذه الأكوان عقيمةٌ لكن يصدف أن الثوابت الأساسية لقدرٍ ضئيلٍ منها مضبوطة مع القيم المستبعَدة التي تتوافق هي والحياة. ونسكن نحن أحدَ الأكوان السعيدة الحظ، وليس ثمَّة أحدٌ حولنا في الغالبية العظمى من الأكوان التعيسة الحظ ليتحسَّر على غياب الذرات أو النجوم أو العناصر الثقيلة أو الكواكب أو الحياة الذكية.

الكون المتطور

وُلد لي سمولين في مدينة نيويورك ودرس الفيزياءَ النظرية في جامعة هارفرد قبل أن ينخرط في مسيرةٍ من البحث بدأت في معهد الدراسات المتقدِّمة في برينستون، وهو المعهد الذي اتخذ منه كلٌّ من ألبرت أينشتاين وهيرمان فايل ملاذًا لهما أثناء الحرب. ثم اضطلع بعدة وظائف مرموقة قبل أن يُصبح أحدَ أعضاء التدريس المؤسِّسين لمعهد بريمتر في أونتاريو بكندا. وقد شارك سمولين أثناء مسيرته في البحث عن نظريةٍ موحَّدة من شأنها أن تربط كلَّ القوى والجسيمات في الفيزياء. سمولين هو أحد صائغي نظريتَي الأوتار والأوتار الفائقة، اللتين تُعَدان في طليعة محاولات توحيد الجاذبية مع جسيمات وقوى نظرية النموذج المعياري.

تقترح نظريات الأوتار (حيث هناك الكثير منها) أن جسيمات المادة كالكواركات والإلكترونات والبروتونات وما إلى ذلك، هي كلها تعبيرات عن أوتارٍ أصغرَ بكثير تهتز وتتذبذب. لكن ولكي تؤتي هذه النظريات ثمارها، تحتاج الأوتار إلى التذبذب في كونٍ ذي ستة وعشرين بُعدًا أو عشرة أبعاد. لسوء الحظ في ظل وجود الكثير من الأبعاد، يقفز عدد نظريات الأوتار الممكنة إلى رقمٍ هائل، وربما كان لا نهائيًّا. إن التعقيد الزائد عن الحد يسمح — تمامًا كما في النظام الشمسي البطلمي — لنظريات الأوتار أن تُضبَط ضبطًا

دقيقًا لتناسب جميعَ البيانات تقريبًا. والنظرية غيرُ قادرة في الوقت الراهن على الإتيان بأي تنبؤ قابل للاختبار.

بعد أن ضاق ذرعًا بفشل نظرية الأوتار على الارتباط بالواقع، بحثَ سمولين عن طريقةٍ بديلة لتفسير مشكلة الضبط الدقيق. في كتابه بعنوان «حياة الكون»[8] الذي نُشِر في العام ١٩٩٩، وكذا في كتابه بعنوان «إعادة إحياء الزمن»[9] الذي نُشِر مؤخرًا في العام ٢٠١٣، يدفع سمولين بأن الانتقاء الطبيعي قد يفسِّر الاحتماليةَ المستبعَدة لوجود كوننا. فيقترح أن كوننا هو نتاج عملية كونية تطورية تماثِل الانتقاءَ الطبيعي تقريبًا، والتي يُطلِق هو عليها اسم الانتقاء الطبيعي الكوني.

نظامٌ بيئيٌّ كونيٌّ

لكي يعمل الانتقاء الطبيعي مع الأكوان، يحتاج إلى بعض الضبط الدقيق. وينبغي لسمولين أن يمدَّ الأكوان بثلاثة العناصر الأساسية للانتقاء الطبيعي: وهي الاستنساخ الذاتي، والوراثة والطفرات. تلعب الثقوبُ السوداء دورًا مهمًّا في كلٍّ منها. وسنبدأ بالاستنساخ الذاتي. ستذكُر أن الثقوب السوداء هي بمثابة نقطةِ النهاية لانهيار النجوم الهائلة الكتلة التي أصبحت قوةُ جذبها غايةً في الكِبَر حتى إن الضوء نفسه لا يمكنه الفِكاك منها. يُعتقد أن الثقوبَ السوداء تقبع في مركز معظم المجرات، بما فيها مجرتنا؛ حيث تبتلع النجوم المحيطة لتطلق كمياتٍ هائلة من الطاقة.

وأحد السيناريوهات الممكنة لنهاية كوننا هو أن يبتلع ثقبٌ أسود مهول كلَّ المادة الموجودة به في سيناريو يُعرف باسم الانسحاق العظيم. تخيَّل الآن تصويرَ هذا السيناريو الكئيب وإعادة عرض الفيلم بالعكس. سيكون المشهدُ الأول لهذا التسجيل المصوَّر تسجيلًا لثقبِ الانسحاق العظيم الأسود الذي ابتلع لتوه آخرَ بقايا كوننا. وبما أنه لم يَعُد هناك شيء آخرُ في الكون، ولا أداة قياس يُقاس بها أيُّ شيء، يُصبح ثقب الانسحاق العظيم الأسود نقطةً منعدمة الأبعاد في فضاء منعدِم الأبعاد. لكن بعد لحظة (في الفيلم الذي يُعاد عرضه بالعكس) سيتقيَّأ الثقب الأسود الخفي المهول جسيماتٍ أساسيةً وطاقة من شأنهما أن يندمجا فيتحولا على مدى ملايين السنين إلى ذرات ونجوم وكواكب مأهولة حتى. إن سيناريو الانسحاق العظيم المعاد عرضه بالعكس هذا سيبدو شبيهًا للغاية بالأصل الذي كان عليه كوننا أثناء الانفجار العظيم.

وبما أن قوانين الفيزياء متناظرة في الزمن، فإن الانسحاق العظيم المعكوس هذا ممكن فيزيائيًّا بقدرِ الانفجار العظيم. ويؤدي تناظر الحدثين بالكثير من علماء الكون إلى الدفع بأن ما يبدو أنه ثقبٌ أسود متعطش لابتلاع النجوم في كوننا قد يكون الانفجار العظيم لكونٍ آخرَ على الجانب الآخر. وعلى النقيض من ذلك، يدفع سمولين بأن الجانب الآخر من الانفجار العظيم الذي دشَّن كونَنا قد يكون هو الانسحاق العظيم للكون الذي يُعَد سلفه. لذا وطبقًا لسمولين (وللعديد من علماء الكون الآخرين)، لم يبدأ الزمن مع الانفجار العظيم، بل يستمر بالعكس أثناء الانفجار العظيم الذي وقع في جانبنا مرورًا بالانسحاق العظيم للكون السالف له وموته، ثم إلى ولادته من ثقبٍ أسود، وهكذا دواليك بالعودة في الزمن، ربما إلى اللانهائية. ليس هذا فحسب، بل بما أن كوننا يعجُّ بعددٍ من الثقوب السوداء يُقدر بمائة مليون ثقب فإن سمولين يقترح أيضًا أن كل ثقب أسود منها يُعد السلف لكونٍ من مائة مليون كونٍ انحدر من كوننا.

وباضطلاع الثقوب السوداء بدور الخلايا التناسلية أو الأمشاج للأكوان، يشمل نموذج سمولين نوعًا من عمليات الاستنساخ الذاتي. والعنصر الثاني من عناصر السيناريو الخاص به هو الوراثة. يضمِّن سمولين هذا من خلال اقتراح أن كل كون من النسل يرث المعاملات وقيمَ الثوابت الأساسية وكتلَ الجسيمات وما إلى ذلك من الكون السالف له. يمكننا أن نتخيَّل تلك الأشياء بأنها الجينات الكونية[٢] التي تشفِّر مواصفاتِ الأكوان تمامًا كما تشفِّر الجينات البيولوجية مواصفاتِ الكائنات الحية.

وأخيرًا تحتَّم على سمولين حلُّ المشكلة التي أفسدت نظريتَي داروين ووالاس عن الانتقاء الطبيعي: ألا وهي مشكلة إيجاد مصدر للتباين الجديد يمكن للانتقاء الطبيعي التعلُّم منه. هنا يقترح سمولين، وكان في ذلك مستقيًا إلهامَه من علم الأحياء ثانية أن المرور العنيف والمضطرب لأحد الأكوان وجيناته الكونية عبْر ثقب أسود يتسبَّب في بعض الأحيان في تغيير قيمِه الدقيقة بفعل شيء يشبه الطفرة.

وفكرةُ أن قوانين الفيزياء قد تكون عرضةً للتغيير ليست بالفكرة الجديدة. يشير سمولين إلى أن الفيلسوف الأمريكي من القرن التاسع عشر تشارلز ساندرز بيرس (١٨٣٩–١٩١٤) — الذي كان متأثرًا بشدة بالنظرية الداروينية — اقترح أن قوانين الفيزياء قد تتطوَّر كما تفعل الكائنات الحية. وقد أبدى عالِم الرياضيات الإنجليزي ويليام كينجدون كليفورد (١٨٤٥–١٨٧٩) زعمًا مماثلًا. بل حتى اللاهوتيون العصرأوسطيون مثلَ ويليام الأوكامي دفعوا بأن الربَّ لربما خلق عوالمَ تختلف عن عالَمنا. كما اقترح

علماء الفيزياء جون آرتشيبالد ويلر وريتشارد فاينمان وسيثل لويد جميعًا أن قوانين الفيزياء قد تكون خاضعة للتغيير[10] في كلٍّ من الزمان والمكان. إلا أن حجَّة تغيُّر القوانين في كوننا ضعيفة؛ لأن القوانين نفسَها تمامًا تنطبق في أبكرِ اللحظات لكوننا وكذا في أقصى حدوده وحافاته، وذلك على قدرِ ما ينتهي إليه علمنا. لكن وكما يشير سمولين، هذا لا يمنع أن تتغيَّر قوانين الفيزياء في الأكوان المختلفة.

إن نقطة البداية في نظرية سمولين هي مكافئ كوني من نوعٍ ما لسيناريو أصل الحياة في علم الأحياء، والذي فيه لم يكن ثمَّة شيءٌ على الإطلاق عند مرحلة زمنيةٍ ما في الماضي السحيق. لكن إحدى أغرب السمات لميكانيكا الكم أننا ليس بإمكاننا حتى أن نكون على ثقةٍ من أي شيء. هذه نتيجة خاصة أخرى لمبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج، الذي يمنعنا من أن نكون واثقين من أن الفراغ التام حتى سيكون خاليًا من الكتلة أو الطاقة. مِن ثَمَّ تترك ميكانيكا الكم مساحةً وجودية للجسيمات الافتراضية كي تظهر وتختفي من الوجود، حتى في فراغ الفضاء الخالي. وفي العام ١٩٨٢، قدَّم عالِم الكون المولود في روسيا ألكسندر فيلنكن زعمًا أكثرَ إدهاشًا حتى بأن الكون نشأ بأبسط الطرق الممكنة، وهي تموُّج كمي «من العدم».[11]

في الوقت الراهن يبدأ السيناريو الأكثر قبولًا حول نشأة الكون بتموُّج كمي عارض. على الأرجح أن هذا الكون الصغير لم يكن مثيرًا للاهتمام؛ حيث إن القيم المختارة عشوائيًّا لثوابته الأساسية كانت غيرَ متسقة مع وجود المادة حتى. وبقدْرِ السرعة نفسه الذي ظهرت فيه في الوجود، فإن الطاقة الموجبة والسالبة لهذا الكون ذي المادة المتعذِّرة التحقُّق كانت لتجتمع من أجل أن تتلاشى إلى العدم. لكن تموُّجات كمية أخرى استمرت في إنتاج أكوان من العدم الكوني حتى — لربما بعد تريليونات عمليات البحث عبْر حيزِ المعاملات — وُلد كون له قيمٌ من شأنها تعزيزُ تكوُّن المادة والنجوم والكواكب، وأخيرًا بضعة ثقوب سوداء.

في سيناريو سمولين، تكوُّن الثقوب السوداء هو المكافئ الكوني لأصل الحياة: إذ جعلت الأكوان ذاتيةَ الاستنساخ. وعلى الأرجح أن الأكوان البدائية الأولى كانت لتنتِج بضعة ثقوب سوداء، ومِن ثَم لم تقدِّم سوى حَفنة من الأنسال. لكن، وما دام أن تلك الحَفنة تتخطَّى الواحد، فإن عدد الأكوان سيتزايد. عِلاوة على ذلك، وحيث يُقتَرح أن مرور الثوابت الأساسية عبْر الثقب الأسود من شأنه أن يشوِّه قيَمها، فإن الكون المتعدِّد النسل كان ليتعدَّد إلى نظام بيئي من أكوانٍ من نوعٍ ما مع وجود أنواعٍ مختلفة من المادة والنجوم والكواكب وأعداد قابلة للتغيير من الثقوب السوداء.

لكنَّ كل الأكوان لم تكن لتُخلَق متساوية. فبعضها سيكون أكثرَ خصوبة من غيرها. وتلك التي ترِث قيمَ معاملات أدَّت إلى أكبر تكتُّل للمادة بداخل النجوم التي انهارت فتحوَّلت إلى ثقوبٍ سوداء ستخلِّف الكثيرَ من الأنسال. وعلى العكس من ذلك، فإن أي كون أخفق في إنتاج نجوم أو ثقوب سوداء سيختفي من الوجود في نهاية المطاف ليُصبح منقرضًا. وتدريجيًّا وعلى مدى عددٍ كبير جدًّا من الأجيال الكونية، سيهيمن على الكون المتعدِّد الأصلحُ من الأكوان والأكثر خصوبة منها والتي تدعهما قيمٌ نادرة للثوابت الأساسية التي تنتج العددَ الأقصى من الثقوب السوداء. فتمامًا كما وجَّه الانتقاء الطبيعي تطوُّر الحياة نحو مخلوقاتٍ غير محتملة كالديناصورات أو الفيلة أو البشر، فإن تلك العملية نفسها — عملية الانتقاء الطبيعي الكوني — ضبطت الثوابتَ الأساسية للفيزياء ضبطًا دقيقًا ووجَّهتها نحو القيم البعيدة الاحتمال، التي كانت ضرورية لتكوين النجوم والكواكب والثقوب السوداء ونحن البشر.

هذه نظريةٌ بارزة للغاية، لكنَّ إثباتها أيضًا بالطبع غايةٌ في الصعوبة. إلا أن النظرية تقدِّم عدةَ تنبؤات تقصَّى عنها سمولين في المحاكات الحاسوبية لتطوُّر الكون. على سبيل المثال، تتنبأ النظريةُ بأن كوننا — كونه سليلَ أكوان ناجحة في السابق — يجب أن يُضبط ضبطًا دقيقًا لتكوين وفرةٍ من الثقوب السوداء بحيث ينتج عن أيِّ تغييرٍ في تلك القيم أعدادُ ثقوب سوداء أقل. وقد اختبر سمولين هذا التنبؤ من خلال إنشاء نموذج حاسوبي لكوننا وثوابته الأساسية ثم تلاعب بقيمها. واكتشف أن حتى أصغرَ التغييرات لمعاملات النموذج المعياري إما أنها قللت من العدد المتوقَّع للثقوب السوداء أو أنها لم ينتج عنها أيُّ تغيير. ولم يُتوقَّع من أي من الطفرات الكونية للنموذج الحاسوبي أن ينتج عنها المزيدُ من الثقوب السوداء. يقترح تحليله أن كوننا أقرب ما يكون بالفعل من كونه جيدًا بأفضل نحوٍ من حيث إنتاج الثقوب السوداء، تمامًا كما تتوقَّع عملية الانتقاء الطبيعي الكونية.

الشفرة الكونية؟

رغم أن نظرية سمولين عن الانتقاء الطبيعي الكوني قد تقدِّم تفسيرًا عن الضبط الدقيق للثوابت الأساسية، فإنها لا تفسِّر — وحدَها — السببَ وراء «أن الكون تبيَّن أنه بسيطٌ بصورة مذهلة» كما يحاجج نيل توروك. لكنها قد تفعل حين تتجمَّع مع شفرة أوكام.

أولًا، ينبغي لي أن أشدِّد على أن الحجَّة التالية ليست جزءًا من نظرية سمولين عن الانتقاء الطبيعي الكوني. في واقع الأمر، إن سمولين نفسه متشكك حيال أن العالَم على

مقربة من أن يكون بأبسطِ ما يمكن له أن يكون. فهو يشير إلى سماتٍ ناقشناها بالفعل؛ على سبيل المثال، أن جيلين من أجيال جسيمات المادة الثلاثة يبدوان فائضين عن الحاجة. وقد قدَّمتُ بالفعل بعضَ الأدوار الممكنة لهذه الجسيمات الإضافية. دور آخر يمكن أن يكون هو أن هذه الجسيمات ضرورية من أجل التناظر؛ حيث تكون هذه الجسميات المكافئ الكوني للحلمات لدى الرجال: والتي ليس لها حاجة لكن من الصعب استبعادها. أيضًا، وحيث إن جسيمات الجيلين الثاني والثالث تكون نادرة، والتي عادة ما توجد فقط في مسرِّعات الجسيمات أو الأشعة الكونية، فإن من المستبعَد أن يشارك أيهما في تكوين الثقوب السوداء أو ينتج منها. قد تكون تلك الجسيمات خفيةً أمام الانتقاء الطبيعي الكوني بالطريقة نفسِها التي اختفت بها الجينات الزائفة في فئران الخلد العارية من مجال الرؤية أمام الانتقاء الطبيعي البيولوجي.

ولكي نرى كيف يمكن لشفرة كونية أن تطوِّر أكوانًا بأقصى درجات البساطة، لنتخيَّل أن كوننا يحوي ثقبين أسودين هما سلفان لكونين وليدين. وحين تعبُر الثوابت الأساسية عبْر الثقب الأسود الأول، تخرج سالمةً تمامًا وتكون القيم نفسها تمامًا مشفَّرة فيها. مِن ثَمَّ سيرث أنساله ثوابتَ متطابقة مع تلك التي في كوننا، وستُنشئ ذرات ونجومًا من الجسيمات السبعة عشر في النموذج المعياري لإنتاجِ كونٍ يشبه كوننا كثيرًا، والذي سنطلق عليه الكون ١٧ج، بما يعكس الجسيمات السبعة عشر الأساسية فيه.

وتخيَّل حين تمرُّ تلك الثوابت الأساسية نفسها عبْر الثقب الأسود الآخر أنها واجهت طفرة كونية نتج عنها نشأةٌ — ليس حسب الجسيمات السبعة عشر الخاصة بالنموذج المعياري فقط — بل أيضًا جسيم أثري إضافي (يشبه تقريبًا الأطراف الأثرية للحوت أو الزائدة الدودية في البشر) هو الثامن عشر في هذا الكون الوليد، ١٨ج. هذا الجسيم الإضافي لا يقوم بأي شيء مفيد لكنه يوجَد في الأرجاء فحسب، ربما في شكل سُحب بيمجرية. مِن ثَم يكون الجسيم الثامن عشر جسيمًا فائضًا عن الحاجة في الكون ١٨ج.

في حين لا يلعب الجسيم الثامن عشر أيَّ دور في تكوين النجوم أو الثقوب السوداء أو البشر، فإنه سيؤثِّر رغم ذلك في تكوينها، وذلك باختلاس بعضٍ من كتلتها. لنفترض أن هذا الجسيم يملِك كتلةً متوسطة ووفرة متوسطة من الجسيمات الأساسية بحيث يمثِّل نحو واحدٍ على ثمانية عشر من مجموع كتلة الكون ١٨ج. هذا الحجز للكتلة في السُّحب البيمجرية للجسيم الثامن عشر من شأنه أن يقلِّل من كمية المادة/الطاقة المتاحة لتكوين الثقوب السوداء، ومِن ثَمَّ يقلِّل عددَ الثقوب السوداء بنسبة واحد على ثمانية عشر، أو ٥

بالمائة تقريبًا. وبما أن الثقوب السوداء هي أمهات الأكوان، فإن الكون ١٨ج سينتج ذريةً هي أقل بنسبة ٥ بالمائة من أخيه الكون ١٧ج. وإن لم يتغيَّر شيء آخر، فإن هذا الاختلاف في الخصوبة سيستمر في الأجيال اللاحقة حتى يتمتَّع أنسال الكون ١٨ج بثلثِ ما يتمتع به أنسال الكون ١٧ج الأكثر تقتيرًا من وفرة، وذلك بحلول الجيل العشرين تقريبًا. في العالم الطبيعي، الطفرات التي تؤدي إلى نقصان بنسبة ١ بالمائة فقط في الصلاحية تكون كافيةً لدفع طفرة نحو الانقراض؛ لذا فمن المرجَّح أن نقصانًا بنسبة ٥ بالمائة في الصلاحية سيستبعد أو على الأقل سيقلِّص بصورة جذريةٍ ما تتمتَّع به الأكوان التي بها ١٨ جسيمًا من وفرة، وذلك بالنسبة إلى الأكوان التي بها ١٧ جسيمًا الأكثر تقتيرًا.

ليس من الواضحِ ما إن كان نوع الكون المتعدِّد الذي تتصوره نظريةُ سمولين محدودًا أو لا نهائيًّا. إن كان محدودًا، فإن الكون الأبسط القادر على تكوين الثقوب السوداء سيكون أكثرَ وفرة بصورة لا نهائية من الكون الأبسط الذي يليه. وفي هذه اللانهائية من الأكوان، يمكننا أن نطرح السؤال: أيها من المرجَّح أكثرَ أن نقطنه؟ ستكون الإجابة أننا من المرجَّح أكثرَ بصورة لا نهائية أن نقطن أبسطَ كون ممكن متناسب مع الحياة.

عوضًا عن ذلك إن كان المعروض من الأكوان محدودًا، فإننا بهذا نكون أمام موقفٍ مشابه لموقف التطوُّر البيولوجي على الأرض. ستتنافس الأكوان على الموارد المتاحة — وهي المادة والطاقة — والأبسط منها الذي سيحوِّل الكثيرَ من كتلته إلى ثقوبٍ سوداء من شأنه أن يخلِّف أكثرَ الأنسال. هنا ثانية، إذا ما سألنا أي هذه الأكوان من المرجَّح أكثر أن نقطن، فستكون الإجابة هو الأبسط. وحين يحدِّق قاطنو هذا الكون إلى السماء — مثل روبرت ويلسون وأرنو بينزيس — ليكتشفوا إشعاعَ الخلفية الكونية الخاصة به ويلاحظون سلاسته المذهلة، فإنهم سيظلون مندهشين — مثل نيل توروك — من الطريقة التي تمكَّن بها كونُهم من فعلِ الكثير انطلاقًا من بداية «بسيطة بصورة مذهلة». باختصار، سيقطن هؤلاء كونًا مشابهًا كثيرًا لكوننا.

إن نظريةَ سمولين — بالتعديل الأوكامي أو من دونه — تترتَّب عليها نتيجةٌ ضمنية أخيرة مدهشة. تقترح النظرية أن القانون الأساسي للكون ليس ميكانيكا الكم أو النسبية العامة أو حتى قوانين الرياضيات. إنما هو قانون الانتقاء الطبيعي الذي اكتشفه تشارلز داروين وألفريد راسل والاس. وكما شدَّد الفيلسوف دانيال دينيت، فإنه «أفضل فكرة راودت أحدًا من قبل».[12] قد تكون هذه الفكرة أيضًا هي أبسطَ فكرة راودت كونًا على الإطلاق.

هوامش

(١) في عمله «محاضرات في الفيزياء»، المجلد الثاني، الفصل التاسع عشر، يخبرنا فاينمان بأنه، بعد أن أخبره مدرِّس المرحلة الثانوية له عن هذا المبدأ، وجده «... مذهلًا تمامًا». وهذا ما دفعه لجعل أطروحته للدكتوراه في جامعة برينستون حول تطبيق مبدأ الفعل الأدنى على ميكانيكا الكم.

(٢) أدرك أن مساواة معاملات نظرية النموذج المعياري بالجينات هو تمديدٌ للتشبيه ربما بأكثرَ مما يمكنه أن يتحمَّل. لكن هذا يثير أيضًا تساؤلاتٍ مثيرة للاهتمام. على سبيل المثال، إذا كانت المعلومات الجينية في الجينات تُكتب في الدي إن إيه، إذن ما هي الركيزة التي ترتكز عليها جينات الكون؟

خاتمة

ظلَّ ويليام الأوكامي في كنَف الإمبراطور الروماني المقدَّس لويس في ميونخ وحولها مذ حلَّ عليها حوالي عام ١٣٢٩، وذلك حتى مات حين كان في الستين من عمره تقريبًا. أثناء تلك الفترة استمر الفرنسيسكان المنشقون في احتفاظهم بالخاتم الرسمي للرهبنة وببعض السيادة عليها في المنفى. كما استمروا أيضًا في كتابة أطروحات سياسية يدينون فيها البابا جون الثاني والعشرين ومَن تلاه من باباوات، بالإضافة إلى التعليق على نطاقٍ واسع من القضايا والمسائل السياسية، على وجه الخصوص حدودُ السلطة البابوية والمَلَكيَّة. وقد زارهم المتعاطفون معهم من العلماء في منفاهم، بما في ذك الكتبةُ الذين يتوقون لنسخ كتاباتهم. يعود تاريخ نسخة كونراد دي فيبث لكتاب ويليام الأوكامي «خلاصة المنطق» بما تتضمَّنه من صورة لويليام إلى تلك الحِقبة. تقبع تلك النسخة الآن في مكتبة كلية جنفيل وكيز بجامعة كامبريدج. وفي استعراض لتأثير الفرنسيسكان على الفنون الإنجليزية، فقد صُنِّفت على أنها «لا تحظى بأي قيمة».

وقد فشلت حركة التمرُّد التي حرَّض عليها ويليام الأوكامي وأتباعه من الفرنسيسكان باعتبارها قوةً سياسية معاصرة. وقدَّم البابا جون الثاني والعشرون خاتمًا رسميًّا جديدًا للرهبنة وعيَّن لها كاهنًا عامًّا جديدًا خاضعًا له والذي سعى لإخماد الانشقاق في الرهبنة. لكن وكما اكتشفنا، وعلى الرغم من الحظر والإدانات التي تعرَّضت لها أفكار ويليام، فقد ظلَّت تَهدر في العالَم العصرأوسطي، فنجت من الموت الأسود وعاودت الظهور — عادة من دون إسناد على ذلك — في حِقَب النهضة والإصلاح والتنوير.

لسوء الحظ، لا نعرف سوى القليل عن السنوات اللاحقة من حياة ويليام، رغم أننا نعرف أنه سافر في بعض الأحيان إلى المدن الأوروبية ليلقي المحاضرات، وكان في ذلك لا يزال ملاحَقًا من قِبل عملاء العديد من الباباوات. حتى إن أحد الباباوات هدَّد بحرق

مدينة تورناي — التي هي اليوم في بلجيكا — عن بكرةِ أبيها فقط من أجل أن يلقي القبض على العالِم الهارب.[1]

في العام ١٣٤٢ حين مات ميكيله من تشيزينا، أصبح ويليام هو حاملَ خاتم الفرنسيسكان الرسمي، وظلَّ معه حتى وفاته يوم ١٠ من شهر أبريل لعام ١٣٤٧، وهو العام الذي اجتاح فيه وباء الطاعون أرجاءَ أوروبا. دُفِن ويليام — على الأرجح رفقةَ خاتم الرهبان الفرنسيسكان — في كنيسة سان فرانسيس في ميونخ. وقد وقف نقشٌ يميِّز قبره في ذلك الموقع حتى هُدِمت الكنيسة في العام ١٨٠٣ ودُمِّر شاهد القبر. وتقف دار أوبرا الآن محلَّ الكنيسة. وبالقرب منها نجد شارعَ أوكام المزدحم، وهو يحوي فندقًا يحمل اسم فندق أوكام، وكذا متجرًا لبيع الأطعمة الخفيفة وحانة للنبيذ في غاية البهجة تُدعى أوكام ديلي.

يقع المتجر عند زاوية شارعي أوكام وفيليتز. سِر بضع دقائق على طول شارع فيليتز وانعطف يسارًا إلى شارع ليوبولد وبعد عشر دقائق أو نحو ذلك ستجد نفسك تحت باب جامعة لودفيج ماكسيميليان في ميونخ؛ حيث درس ماكس بلانك الفيزياء فيما بين عامي ١٨٧٤ و١٨٧٧. ستتذكُر أن تاريخ ميكانيكا الكم يبدأ في يوم ١٩ أكتوبر من العام ١٩٠٠ حين قدَّم بلانك معادلتَه التي بدَّدت إحدى غمامتَي اللورد كلفن. ومثل كل الإنجازات العلمية الكبيرة، كانت تلك المعادلة تتضمَّن تبسيطًا. فعند الترددات المنخفضة، يتنبأ قانون رايلي-جينس بصورة صحيحة بإشعاع الجسم الأسود، في حين كنا بحاجة لقانون فين لنتنبأ بالطيف عند الترددات العالية. لم يدحض بلانك أيًّا من القانونين لكنه برهن أن معادلته الثورية تصلح لكل نطاقات الترددات. وكما عبَّر عالِم الكيمياء والحاصل على جائزة نوبل رولد هوفمان، فإن بلانك تبِع «المنطق — منطق شفرة أوكام — في الفرضية الكمية».[2]

بالطبع لم يستشهد ماكس بلانك لا بويليام الأوكامي ولا بشفرته في ورقته العلمية الثورية. ذلك أنه لم يكن بحاجة إلى ذلك. فبحلول ذلك الوقت، كان جميع العلماء ينزعون نحو الحلول البسيطة باعتبار ذلك أمرًا مفروغًا منه، رغم حقيقة أن معظمهم كان سيتعرَّض لضغوط مضنية لتبرير ذلك. بالنسبة إلى أي عالِم من العصر الحديث، فإن اختيار نظرية معقَّدة في حين أن هناك أخرى أكثر بساطة ستفي بالغرض لهو أمرٌ ببساطة غير علمي. لكن وكما اكتشفنا، فإن هذا التفضيل الراسخ تجاه البساطة ضمن حدود العلم هو فكرة حديثة العهد نسبيًّا وتَدين بكل شيء لويليام الأوكامي الذي قضى

على المعتقدات العصرأوسطية ليوفِّر مساحةً لعلمٍ أكثرَ دقة وبساطة. وبوجود شفرة أوكام في المتناول، أثبت هذا العلم قيمته، وذلك من خلال إضفاء معنًى على كونٍ مثيرٍ للحيرة وتوفير حيوات لنا هي أكثر سعادة وأطول أمدًا وأفضل صحة وأكثر إرضاءً من تلك التي عاشها غالبيةُ أجدادنا أو كابدوها.

كثيرًا ما أفكِّر في ويليام الأوكامي حين أذهب إلى الجري في الصباح الباكر في ويمبلدون كومن في جنوب غربي لندن، بالقرب من المكان الذي أقطن فيه. فالمسار الذي أسلكه في معظم الأحيان يقودني على طول نهر بيفرلي بروك عبْر محمية فيشبوندز وود، مرورًا بعدة بركٍ صغيرة كانت في سالف العصر هي بحيرات أسماك دير ميرتون برايوري والذي تأسَّس في العام ١١١٧ على يد الرهبان الأوغسطينوسيِّين. كان ذلك الدير لا يزال مزدهرًا في بواكير القرن الرابع عشر حين كان ويليام الأوكامي يعيش ويدرس في جرايفرايرز في لندن التي تبعُد عنه مسافة ثلاث ساعات سيرًا أو ساعة ركوبًا. وأتساءل إن كان ويليام في السنوات الخمس أو نحو ذلك التي عاشها في جرايفرايرز قد سافر بين الحين والآخر جنوبًا لزيارة الدير الشهير، وربما أنه شارك حتى في مناظرة عاصفة حول اللاهوت العلمي أو التداعيات الصارخة لطلاقة القدرة الإلهية. وإن كان الطقس جيدًا، لربما أنه تباطأ برهةً ليستمتع بجولة حول الحقول والجداول الصغيرة والبحيرات والغابات كاستراحة لاستعادة النشاط والتقاط الأنفاس من الشوارع الضيقة المزدحمة والروائح البغيضة لأزقةِ ذا شامبلز التي تحيط بديره.

وربما بين الحين والآخر — مثلي حين أذهب إلى الجري صباحًا — كان ينعطف منعطفًا خاطئًا في الغابة ويضل طريقه. بعد ثمانية قرون، وجدت نفسي في هذا الموقف بالتحديد (الصورة على اليمين). سيكون التقدُّم في المسير مستحيلًا من دون أي إشارة إلى الاتجاه الذي أنا بحاجة لأن أسلكه لأخرج من بين هذه الشجيرات الصغيرة الكثيفة. لكن لو تقدَّم ويليام بضع خطوات — مثلي — إلى الأمام والتفت يمينًا، لاكتشف أنه بالفعل على مسارٍ خالٍ للخروج من الغابة (الصورة على اليسار). إن مجردَ تغيير في التوجُّه يمكن أن يكون كافيًا بما يسمح لنا أن نخرج من أدغال التعقيد وندلِف إلى عالَمٍ أكثرَ بساطة وعقلانية.

إن شفرة أوكام في كل مكان. فقد حفرت لنا مسارًا عبْر أدغال المفاهيم الخاطئة والعقائد الدينية والتعصب الأعمى والتحيُّز والأفكار الجامدة والمعتقدات الخاطئة والهراء المحض التي عرقلت تقدُّمنا في معظم الأوقات وأغلب الأماكن. ليس الأمر أن البساطة قد





جرى تضمينها في العلم الحديث؛ بل إن البساطة هي العلم الحديث، ومن خلالها نصل إلى العالَم الحديث. من المؤكَّد أن المزيد من أوجه التبسيط تنتظر أن يكتشفها العلماء، خاصة أولئك الذين ينتمون إلى قاعدةٍ أكثرَ اتساعًا لا تهتم بمسألة الجنس أو العِرق أو التوجُّه الجنسي، وهي غير مثقلة بأوجه التحيز والعقائد الجامدة التي عرقلت تقدُّم القصة حتى وقتنا هذا. وثمَّة الكثير والكثير من العمل الذي بحاجة لأن يُنتهى منه حتى في قلب شفرة أوكام — الفيزياء — حيث لم يجِد أحدٌ بعدُ طريقةً لتوحيد أفضل نظرية لدينا عن تركيب الكون وهي النسبية العامة، مع أفضل نظرية لدينا عن تركيب الذرات، وهي ميكانيكا الكم. وكما عبَّر أحدُ أعظم علماء الفيزياء على مدى القرن العشرين وهو جون آرتشيبالد ويلر: «خلف كلِّ شيء توجد بالطبع فكرةٌ غاية في البساطة والجمال حتى إننا حين نقبض عليها — في غضون عَقد من الزمن أو قرن أو ألفية — سنقول لبعضنا، كيف أمكن أن يكون الأمر على غرار غير ذلك؟»[3]

إن الحياة بسيطة حقًّا.

ملاحظات

مقدمة

(1) Wilkinson, D. T., and Peebles, P., in *Particle Physics and the Universe*, 136–41 (World Scientific, 2001).

(2) Turok, N., 'The Astonishing Simplicity of Everything', public lecture at the Perimeter Institute for Theoretical Physics, Ontario, Canada, 7 October 2015, https://www.youtube.com/watch?v=f1x-9lgX8GaE.

(3) Sober, E., *Ockham's Razors* (Cambridge University Press, 2015).

(4) Doyle, A. C., *The Sign of Four* (Broadview Press, 2010).

(5) Barnett, L., and Einstein, A., *The Universe and Dr Einstein* (Courier Corporation, 2005).

(6) Wootton, D., *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution* (Penguin, 2015). Gribbin, J., *Science: A History* (Penguin, 2003). Ignotofsky, R., *Women in Science: 50 Fearless Pioneers Who Changed the World* (Ten Speed Press, 2016). Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions* (University of Chicago Press, 2012).

الفصل الأول: عن العلماء والمهرطِقين

(1) de Ockham, G., and Ockham, W., *William of Ockham: 'A Letter to the Friars Minor' and Other Writings* (Cambridge University Press, 1995).

(2) Knysh, G., ‘Biographical Rectifications Concerning Ockham’s Avignon Period’, *Franciscan Studies*, 46, 61–91 (1986).

(3) Villehardouin, G., and De Joinville, J., *Chronicles of the Crusades* (Courier Corporation, 2012).

(4) Evans, J., *Life in Medieval France* (Phaidon Paperback, 1957).

(5) Sparavigna, A. C., ‘The Light Linking Dante Alighieri to Robert Grosseteste’, PHILICA, Article no. 572 (2016).

(6) Gill, M. J., *Angels and the Order of Heaven in Medieval and Renaissance Italy* (Cambridge University Press, 2014).

(7) Jowett, B., and Campbell, L., *Plato’s Republic*, vol. 3, 518c (Clarendon Press, 1894).

(8) Smith, A. M., ‘Saving the Appearances of the Appearances: The Foundations of Classical Geometrical Optics’, *Archive for History of Exact Sciences*, 73–99 (1981).

(9) Deakin, M. A., ‘Hypatia and Her Mathematics’, *American Math ematical Monthly*, 101, 234–43 (1994).

(10) Charles, R. H., *The Chronicle of John, Bishop of Nikiu: Translated from Zotenberg’s Ethiopic Text*, vol. 4 (Arx Publishing, 2007).

(11) Munitz, M. K., *Theories of the Universe* (Simon and Schuster, 2008).

الفصل الثاني: فيزياء الرب

(1) Laistner, M., ‘The Revival of Greek in Western Europe in the Carolingian Age’, *History*, 9, 177–87 (1924).

(2) Clark, G., ‘Growth or Stagnation? Farming in England, 1200–1800’, *Economic History Review*, 71, 55–81 (2018).

(3) Nordlund, T., ‘The Physics of Augustine: The Matter of Time, Change and an Unchanging God’, *Religions*, 6, 221–44 (2015).

(4) Gill, T., *Confessions* (Bridge Logos Foundation, 2003).

(5) Al-Khalili, J., *Pathfinders: The Golden Age of Arabic Science* (Penguin, 2010).

(6) Dinkova-Bruun, G., et al., *The Dimensions of Colour: Robert Grosseteste's De Colore* (Institute of Medieval and Renaissance Studies, 2013).

(7) Hannam, J., *The Genesis of Science: How the Christian Middle Ages Launched the Scientific Revolution* (Regnery Publishing, 2011).

(8) Zajonc, A., *Catching the Light: The Entwined History of Light and Mind* (Oxford University Press, USA, 1995).

(9) Meri, J. W., *Medieval Islamic Civilization: An Encyclopedia* (Routledge, 2005).

(10) Lombard, P., *The First Book of Sentences on the Trinity and Unity of God*; https://franciscan-archive.org/lombardus/I-Sent.html.

(11) Sylla, E. D., in *The Cultural Context of Medieval Learning*, 349–96 (Springer, 1975).

(12) Riddell, J., *The Apology of Plato* (Clarendon Press, 1867).

الفصل الثالث: الشفرة

(1) Hammer, C. I., 'Patterns of Homicide in a Medieval University Town: Fourteenth-Century Oxford', *Past & Present*, 3–23 (1978).

(2) Ibid.

(3) Little, A. G., *Franciscan History and Legend in English Mediaeval Art*, vol. 19 (Manchester University Press, 1937).

(4) Lambertini, R., 'Francis of Marchia and William of Ockham: Fragments From a Dialogue', *Vivarium*, 44, 184–204 (2006).

(5) Leff, G., *William of Ockham: The Metamorphosis of Scholastic Discourse* (Manchester University Press, 1975).

(6) Tornay, S. C., 'William of Ockham's Nominalism', *Philosophical Review*, 45, 245–67 (1936).

(7) Ibid.

(8) Loux, M. J., *Ockham's Theory of Terms: Part I of the Summa Logicae* (St Augustine's Press, 2011).

(9) Goddu, A., *The Physics of William of Ockham*, vol. 16 (Brill Archive, 1984).

(10) Freddoso, A. J., *Quodlibetal Questions* (Yale University Press, 1991).

(11) Kaye, S. M., and Martin, R. M., *On Ockham* (Wadsworth/Thompson Learning Inc., 2001).

(12) Sylla, E. D., in *The Cultural Context of Medieval Learning*, 349–96 (Springer, 1975).

(13) Shea, W. R., 'Causality and Scientific Explanation, Vol. I: Medieval and Early Classical Science by William A. Wallace', *Thomist: A Speculative Quarterly Review*, 37, 393–6 (1973).

(14) Leff, *William of Ockham.*

(15) Spade, P. V., *The Cambridge Companion to Ockham* (Cambridge University Press, 1999).

(16) Ibid.

(17) Kaye and Martin, *On Ockham*.

(18) Keele, R., *Ockham Explained: From Razor to Rebellion*, *vol.* 7 (Open Court Publishing, 2010).

(19) de Ockham, G., and Ockham, W., *William of Ockham: 'A Letter to the Friars Minor' and Other Writings* (Cambridge University Press, 1995).

(20) Mollat, G., *The Popes at Avignon: 1305–1378* (trans. J. Love), 38–9 (Thomas Nelson & Sons, 1963).

(21) Brampton, C. K., 'Personalities at the Process Against Ockham at Avignon, 1324–26', *Franciscan Studies*, 26, 4–25 (1966). Birch, T. B., *The De Sacramento Altaris of William of Ockham* (Wipf and Stock Publishers, 2009).

الفصل الرابع: ما مدى بساطة الحقوق؟

(1) Van Duffel, S., and Robertson, S., *Ockham's Theory of Natural Rights* (available at SSRN 1632452, 2010).

(2) Deane, J. K., *A History of Medieval Heresy and Inquisition* (Rowman & Littlefield Publishers, 2011).

(3) Mariotti, L., *A Historical Memoir of Frà Dolcino and his Times; Being an Account of a general Struggle for Ecclesiastical Reform and of an anti-heretical crusade in Italy, in the early part of the fourteenth century* (Longman, Brown, Green, 1853).

(4) Burr, D., *The Spiritual Franciscans: From Protest to Persecution in the Century After Saint Francis* (Penn State Press, 2001).

(5) Haft, A. J., White, J. G., and White, R. J., *The Key to 'The Name of the Rose': Including Translations of All Non-English Passages* (University of Michigan Press, 1999).

(6) de Ockham, G., and Ockham, W., *William of Ockham: 'A Letter to the Friars Minor' and Other Writings* (Cambridge University Press, 1995).

(7) Knysh, G., 'Biographical Rectifications Concerning Ockham's Avignon Period', *Franciscan Studies*, 46, 61–91 (1986).

(8) Leff, G., *William of Ockham: The Metamorphosis of Scholastic Discourse* (Manchester University Press, 1975).

(9) Tierney, B., *The Idea of Natural Rights: Studies on Natural Rights, Natural Law, and Church Law, 1150-1625*, vol. 5 (Wm. B. Eerdmans Publishing, 2001).

(10) Tierney, B., 'The Idea of Natural Rights-Origins and Persistence', *Northwestern Journal of International Human Rights*, 2, 2 (2004).

(11) Ibid.

(12) Witte Jr, J., and Van der Vyver, J. D., *Religious Human Rights in Global Perspective: Religious Perspectives*, vol. 2 (Wm. B. Eerdmans Publishing, 1996).

(13) Tierney, B., 'Villey, Ockham and the Origin of Individual Rights', in Witte, J. (ed.), *The Weightier Matters of the Law: Essays on Law and Religion*, 1–31 (Scholars Press, 1988).

(14) Chroust, A.-H., 'Hugo Grotius and the Scholastic Natural Law Tradition', *New Scholasticism*, 17, 101–33 (1943).

(15) Trachtenberg, O., 'William of Occam and the Prehistory of English Materialism', *Philosophy and Phenomenological Research*, 6, 212–24 (1945).

الفصل الخامس: الشعلة

(1) Etzkorn, G. J., 'Codex Merton 284: Evidence of Ockham's Early Influence in Oxford', *Studies in Church History Subsidia*, 5, 31–42 (1987).

(2) Aleksander, J., 'The Significance of the Erosion of the Prohibition against Metabasis to the Success and Legacy of the Copernican Revolution', *Annales Philosophici*, 9–22 (2011).

(3) McGinnis, J., 'A Medieval Arabic Analysis of Motion at an Instant: The Avicennan Sources to the forma fluens/fluxus formae Debate', *British Journal for the History of Science*, 39(2), 189–205 (2006).

(4) Copleston, F., *A History of Philosophy*, vol. 3: *Ockham to Suarez* (Paulist Press, 1954).

(5) Goddu, A., 'The Impact of Ockham's Reading of the Physics on the Mertonians and Parisian Terminists', *Early Science and Medicine*, 6, 204–36 (2001).

(6) Sylla, E. D., 'Medieval Dynamics', *Physics Today*, 61, 51 (2008).

(7) Courtenay, W. J., 'The Reception of Ockham's Thought in Fourteenth-Century England', *From Ockham to Wyclif*, 89–107 (Boydell and Brewer, 1987).

(8) Goddu, 'The Impact of Ockham's Reading of the Physics'.

(9) Heytesbury, W., *On Maxima and Minima: Chapter 5 of Rules for Solving Sophismata: With an Anonymous Fourteenth-Century Discussion*, vol. 26 (Springer Science & Business Media, 2012).

(10) Wikipedia definition of speed, https://en.wikipedia.org/wiki/Speed#Historical_definition.

(11) Barnett, L., and Einstein, A., *The Universe and Dr Einstein* (Courier Corporation, 2005).

(12) Klima, G., *John Buridan* (Oxford University Press, 2008).

(13) Goddu, A., *The Physics of William of Ockham*, vol. 16 (Brill Archive, 1984).

(14) Tachau, K., *Vision and Certitude in the Age of Ockham: Optics, Epistemology and the Foundation of Semantics 1250-1345* (Brill, 2000).

(15) Hannam, J., *God's Philosophers: How the Medieval World Laid the Foundations of Modern Science* (Icon Books, 2009).

(16) Ibid.

(17) Shapiro, H., *Medieval Philosophy: Selected Readings from Augustine to Buridan* (Modern Library, 1964).

الفصل السادس: فترة الكساد الفكري

(1) Alfani, G., and Murphy, T. E., 'Plague and Lethal Epidemics in the Pre-Industrial World', *Journal of Economic History*, 77, 314–43 (2017).

(2) Nicholl, C., *Leonardo da Vinci: The Flights of the Mind* (Penguin, 2005).

(3) Ibid.

(4) Ibid.

(5) Reti, L., 'The Two Unpublished Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Biblioteca Nacional of Madrid — II', *Burlington Magazine*, 110, 81–91 (1968).

(6) Duhem, P., ‘Research on the History of Physical Theories’, *Synthese*, 83, 189–200 (1990).

(7) Randall, J. H., ‘The Place of Leonardo Da Vinci in the Emergence of Modern Science’, *Journal of the History of Ideas*, 191–202 (1953).

(8) Long, M. P., ‘Francesco Landini and the Florentine Cultural Elite’, *Early Music History*, 3, 83–99 (1983).

(9) Funkenstein, A., *Theology and the Scientific Imagination: From the Middle Ages to the Seventeenth Century* (Princeton University Press, 2018).

(10) Matsen, H., ‘Alessandro Achillini (1463–1512) and “Ockhamism” at Bologna (1490–1500)’, *Journal of the History of Philosophy*, 13, 437–51 (1975).

(11) Dutton, B. D., ‘Nicholas of Autrecourt and William of Ockham on Atomism, Nominalism, and the Ontology of Motion’, *Medieval Philosophy & Theology*, 5, 63–85 (1996).

(12) Gillespie, M. A., *Nihilism Before Nietzsche* (University of Chicago Press, 1995).

(13) Reti, ‘The Two Unpublished Manuscripts of Leonardo da Vinci’.

(14) Ibid.

(15) Boysen, B., ‘The Triumph of Exile: The Ruptures and Transformations of Exile in Petrarch’, *Comparative Literature Studies*, 55, 483–511 (2018).

(16) Petrarca, F., ‘On His Own Ignorance and That of Many Others’ (trans. Hans Nicod), in Cassirer, E., Kristeller, P. O., and Randall, J. H. (eds), in *The Renaissance Philosophy of Man: Petrarca, Valla, Ficino, Pico, Pomponazzi, Vives*, 47–133 (University of Chicago Press, 2011).

(17) Medieval Sourcebook: Petrarch, *The Ascent of Mount Ventoux*; https://sourcebooks.fordham.edu/source/petrarch-ventoux.asp.

(18) Rawski, C. H., *Petrarch’s Remedies for Fortune Fair and Foul: A Modern English Translation of De Remediis Utriusque Fortune, With A*

Commentary. References: Bibliography, Indexes, Tables and Maps, vol. 2, 226 (Indiana University Press, 1991).

(19) Trinkaus, C., ‘Petrarch’s Views on the Individual and His Society’, *Osiris*, 11, 168–98 (1954).

(20) Boucher, H. W., ‘Nominalism: The Difference for Chaucer and Boccaccio’, *Chaucer Review*, 213–20 (1986).

(21) Keiper, H., Bode, C., and Utz, R. J., *Nominalism and Literary Discourse: New Perspectives*, vol. 10 (Rodopi, 1997).

(22) Dvořák, M. *The History of Art as a History of Ideas* (trans. John Hardy) (Routledge & Kegan Paul, 1984).

(23) Hauser, A., *The Social History of Art,* vol. 2: *Renaissance* (Routledge, 2005).

(24) Kieckhefer, R., *Magic in the Middle Ages* (Cambridge University Press, 2000).

(25) Holborn, H., *A History of Modern Germany: The Reformation*, vol. 1 (Princeton University Press, 1982).

(26) Gillespie, M. A., *The Theological Origins of Modernity* (University of Chicago Press, 2008).

(27) Oberman, H., *The Dawn of the Reformation: Essays in Late Medieval and Early Reformation Thought* (Wm. B. Eerdmans Publishing, 1992).

(28) Pekka, K., in *Encyclopedia of Medieval Philosophy: Philosophy Between 500 and 1500* (ed. Henrik Lagerlund), 14–45 (Springer, 2011).

الفصل السابع: كونٌ شمسيُّ المركزِ لكنه مُحكَم

(1) Krauze-Błachowicz, K., ‘Was Conceptualist Grammar in Use at Cracow University?’, *Studia Antyczne i Mediewistyczne*, 6, 275–85 (2008).

(2) Matsen, H., ‘Alessandro Achillini (1463–1512) and “Ockhamism” at Bologna (1490–1500)’, *Journal of the History of Philosophy*, 13, 437–51 (1975).

(3) Edelheit, A., *Ficino, Pico and Savonarola: The Evolution of Humanist Theology 1461/2–1498* (Brill, 2008).

(4) Barbour, J. B., *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories* (Oxford University Press, 2001).

(5) Sobel, D., *A More Perfect Heaven: How Copernicus Revolutionised the Cosmos*, 178 (A & C Black, 2011).

(6) Ibid.

(7) Gingerich, O., ‘“Crisis” Versus Aesthetic in the Copernican Revolution’, *Vistas in Astronomy*, 17, 85–95 (1975).

(8) Copernicus, N., *On the Revolutions* (trans. and commentary Edward Rosen) (Johns Hopkins University Press, 1978), http://www.geo.utexas.edu/courses/302d/Fall_2011/Full%20text%20-%20Nicholas%20Copernicus,%20_De%20Revolutionibus%20(On%20the%20Revolutions),_%201.pdf.

(9) Gingerich, O., ‘“Crisis” Versus Aesthetic in the Copernican Revolution’, *Vistas in Astronomy*, 17, 85–95 (1975).

الفصل الثامن: تقسيم الدوائر

(1) Thoren, V. E., *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe* (Cambridge University Press, 1990).

(2) Ibid.

(3) Oberman, H. A., *The Harvest of Medieval Theology: Gabriel Biel and Late Medieval Nominalism* (Harvard University Press, 1963).

(4) Methuen, C., *Kepler’s Tübingen: Stimulus to a Theological Mathematics* (Ashgate, 1998).

(5) Field, J. V., 'A Lutheran Astrologer: Johannes Kepler', *Archive for History of Exact Sciences*, 31 (1984).

(6) Spielvogel, J. J., *Western Civilization*, 467 (Cengage Learning, 2014).

(7) Bialas, V., *Johannes Kepler*, vol. 566 (CH Beck, 2004).

(8) Chandrasekhar, S., *The Pursuit of Science*, 410–20 (Minerva, 1984).

(9) Kepler, J., *The Harmony of the World*, vol. 209, 302 (American Philosophical Society, 1997).

(10) Poincaré, H., and Maitland, F., *Science and Method* (Courier Corporation, 2003).

(11) Dirac, P. A. M., 'XI. — The Relation Between Mathematics and Physics', *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 59, 122–9 (1940).

(12) Kepler, *The Harmony of the World*.

(13) Martens, R., *Kepler's Philosophy and the New Astronomy* (Princeton University Press, 2000).

(14) Sober, E., *Ockham's Razors* (Cambridge University Press, 2015). Sober, E., 'What is the Problem of Simplicity', *Simplicity, Inference, and Econometric Modelling*, 13–32 (2002).

(15) Fraser, J., 'The Ever-Presence of Eternity', *Dialog*, 39, 40–5 (2000).

الفصل التاسع: نقْلُ البساطةِ إلى الأجسام الأرضية

(1) Sober, E., *Ockham's Razors* (Cambridge University Press, 2015).

(2) Reeves, E. A., *Galileo's Glassworks: The Telescope and the Mirror* (Harvard University Press, 2009).

(3) Ibid.

(4) Galilei, G., and Van Helden, A., *Sidereus Nuncius, or the Sidereal Messenger* (University of Chicago Press, 2016).

(5) Wootton, D., *Galileo: Watcher of the Skies* (Yale University Press, 2010).

(6) Galilei, G., and Wallace, W. A., *Galileo's Early Notebooks: The Physical Questions: A Translation from the Latin, with Historical and Paleographical Commentary* (University of Notre Dame Press, 1977).

(7) Buchwald, J. Z., *A Master of Science History: Essays in Honor of Charles Coulston Gillispie*, vol. 30 (Springer Science & Business Media, 2012).

(8) Sober, *Ockham's Razors*.

الفصل العاشر: الذرات والأرواح العارفة

(1) Wojcik, J. W., *Robert Boyle and the Limits of Reason*, 151–88 (Cambridge University Press, 1997).

(2) Hunter, M., *Boyle: Between God and Science* (Yale University Press, 2010).

(3) Ibid.

(4) Ibid.

(5) Ibid.

(6) Ibid.

(7) Pilkington, R., *Robert Boyle: Father of Chemistry* (John Murray, 1959).

(8) Descartes, R., *Discourse on the Method of Rightly Conducting the Reason, and Seeking Truth in the Sciences* (Sutherland and Knox, 1850).

(9) Goddu, A., *The Physics of William of Ockham*, vol. 16 (Brill Archive, 1984).

(10) Hull, G., 'Hobbes's Radical Nominalism', *Epoché: A Journal for the History of Philosophy*, 11, 201–23 (2006).

(11) Hobbes, T., *Hobbes's Leviathan*, vol. 1 (Google Books, 1967).

(12) Ibid.

(13) Gillespie, M. A., *The Theological Origins of Modernity* (ReadHowYouWant.com, 2010).

(14) Lindberg, D. C., and Numbers, R. L., *When Science and Christianity Meet* (University of Chicago Press, 2008).

(15) Medawar, P., *The Art of the Soluble* (Methuen, 1967).

(16) Milton, J. R., 'Induction Before Hume', *British Journal for the Philosophy of Science*, 38, 49–74 (1987).

(17) Hunter, *Boyle*.

(18) Greene, R. A., 'Henry More and Robert Boyle on the Spirit of Nature', *Journal of the History of Ideas*, 451–74 (1962)

(19) Wojcik, *Robert Boyle.*

(20) Ibid., 174.

(21) Descartes, R., 'Rules for the Direction of the Mind', in *The Philosophical Works of Descartes* (trans. E. S. Haldane and G. R. T. Ross), vol. 1, 7 (Dover Publications, 1955).

(22) Wood, A., and Bliss, P., *Athenæ Oxonienses: An Exact History of All the Writers and Bishops who Have Had Their Education in the University of Oxford. To which are Added, the Fasti Or Annals, of the Said University* (F. C. & J. Rivington, 1820).

الفصل الحادي عشر: مفهوم الحركة

(1) Stewart, L., 'Other Centres of Calculation, or, Where the Royal Society Didn't Count: Commerce, Coffee-Houses and Natural Philosophy in Early Modern London', *British Journal for the History of Science*, 32, 133–53 (1999).

(2) Koyré, A., 'An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton', *Isis*, 43, 312–37 (1952).

(3) Whitehead, A. N., *Principia mathematica* (1913).

(4) Copleston, F., *A History of Philosophy,* vol. 3: *Ockham to Suarez* (Paulist Press, 1954).

(5) Quoted in Kaye, S. M., and Martin, R. M., *On Ockham* (Wadsworth/Thompson Learning, 2001).

الفصل الثاني عشر: الاستفادة من مفهوم الحركة

(1) Feuer, L. S., ‘The Principle of Simplicity’, *Philosophy of Science*, 24, 109–22 (1957).

(2) Kitcher, P., *The Advancement of Science: Science Without Legend, Objectivity Without Illusions*, 280 (Oxford University Press on Demand, 1995).

(3) Brown, S. C., ‘Count Rumford and the Caloric Theory of Heat’, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 93, 316–25 (1949).

الفصل الثالث عشر: الشرارة الحيوية

(1) von Walde-Waldegg, H., ‘Notes on the Indians of the Llanos of Casanare and San Martin (Colombia)’, *Primitive Man*, 9, 38–45 (1936).

(2) von Humboldt, A., Bonpland, A., and Ross, T., *Personal Narrative of Travels to the Equinoctial Regions of America: During the Years 1799–1804*, vols 1–3 (G. Bell & Sons, 1894).

(3) Lattman, P., ‘The Origins of Justice Stewart’s “I Know It When I See It”’, *Wall Street Journal*, 27 September 2007, https://www.wsj.com/articles/BL-LB-4558.

(4) Laertius, R. D. D., and Hicks, R. D., *Lives of Eminent Philosophers* (trans. R. D. Hicks) (Heinemann, 1959).

(5) Finger, S., and Piccolino, M., *The Shocking History of Electric Fishes: From Ancient Epochs to the Birth of Modern Neurophysiology* (Oxford University Press USA, 2011).

(6) Copenhaver, B. P., ‘A Tale of Two Fishes: Magical Objects in Natural History from Antiquity Through the Scientific Revolution’, *Journal of the History of Ideas*, 52, 373–98, doi:10.2307/2710043 (1991).

(7) Ibid.

(8) Finger and Piccolino, *The Shocking History of Electric Fishes*.

(9) Solomon, S., et al., ‘Safety and Effectiveness of Cranial Electrotherapy in the Treatment of Tension Headache’, *Headache*, 29, 445–50, doi:10.1111/j.1526-4610.1989.hed2907445.x (1989).

(10) Copenhaver, ‘A Tale of Two Fishes’.

(11) Compagnon, A., *Nous: Michel de Montaigne* (Le Seuil, 2016).

(12) Finger and Piccolino, *The Shocking History of Electric Fishes*.

(13) Ibid.

(14) Wulf, A., *The Invention of Nature: Alexander Von Humboldt’s New World* (Alfred A. Knopf, 2015).

(15) Finkelstein, G., *Emil Du Bois-Reymond: Neuroscience, Self, and Society in Nineteenth-Century Germany* (MIT Press, 2013).

(16) Gorby, Y. A., et al., ‘Electrically Conductive Bacterial Nanowires Produced by Shewanella oneidensis Strain MR-1 and Other Microorganisms’, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 11358–63 (2006).

(17) Vandenberg, L. N., Morrie, R. D., and Adams, D. S., ‘V-ATPase-Dependent Ectodermal Voltage and pH Regionalization Are Required for Craniofacial Morphogenesis’, *Developmental Dynamics*, 240, 1889–1904 (2011).

الفصل الرابع عشر: التوجُّه الحيوي للحياة

(1) Wallace, A. R., *Darwinism: An Exposition of the Theory of Natural Selection with Some of its Applications* (Cosimo, Inc., 2007).

(2) Kaye, S. M., *William of Ockham* (Oxford University Press, 2015).

(3) Wallace Letters online, Natural History Museum, London; https://www.nhm.ac.uk/research-curation/scientific-resources/collections/library-collections/wallace-letters-online/index.html.

(4) Wallace, A. R., 'On the Law Which Has Regulated the Introduction of New Species (1855)', *Alfred Russel Wallace Classic Writings*, Paper 2 (2009), http://digitalcommons.wku.edu/dlps_fac_arw/2

(5) Ereshefsky, M., 'Some Problems with the Linnaean Hierarchy', *Philosophy of Science*, 61, 186–205 (1994).

(6) Winchester, S., *The Map That Changed the World: A Tale of Rocks, Ruin and Redemption* (Penguin, 2002).

(7) Ibid.

(8) Goodhue, T. W., *Fossil Hunter: The Life and Times of Mary Anning (1799–1847)* (Academica Press, 2004).

(9) Raby, P., *Alfred Russel Wallace: A Life* (Princeton University Press, 2002).

(10) Bowler, P. J., *Evolution: The History of an Idea: 25th Anniversary Edition, With a New Preface* (University of California Press, 2009).

(11) Raby, *Alfred Russel Wallace*.

(12) Van Wyhe, J., 'The Impact of AR Wallace's Sarawak Law Paper Reassessed', *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 60, 56–66 (2016).

(13) Ibid.

(14) Davies, R., '1 July 1858: What Wallace Knew; What Lyell Thought He Knew; What Both He and Hooker Took on Trust; And What Charles Darwin Never Told Them', *Biological Journal of the Linnean Society*, 109, 725–36 (2013).

(15) Beddall, B. G., ‘Darwin and Divergence: The Wallace Connection’, *Journal of the History of Biology*, 21.1, 1–68 (1988).

(16) Shermer, M., *In Darwin’s Shadow: The Life and Science of Alfred Russel Wallace: A Biographical Study on the Psychology of History* (Oxford University Press on Demand, 2002). Cowan, I., ‘A Trumpery Affair: How Wallace Stimulated Darwin to Publish and Be Damned’; http://wallacefund.info/sites/wallacefund.info/files/A%20Trumpery%20Affair.pdf.

(17) Kutschera, U., ‘Wallace Pioneered Astrobiology Too’, *Nature*, 489, 208 (2012).

(18) Dennett, D. C., *Darwin’s Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life* (Simon & Schuster, 1996).

(19) Wallace, A. R., and Berry, A., *The Malay Archipelago* (Penguin, 2014).

الفصل الخامس عشر: حول البازلاء وزهور الربيع والذباب والقوارض العمياء

(1) Wallace, A. R., *Mimicry, and Other Protective Resemblances Among Animals* (Read Books Limited, 2016).

(2) Vorzimmer, P., ‘Charles Darwin and Blending Inheritance’, *Isis*, 54, 371–90 (1963).

(3) De Castro, M., ‘Johann Gregor Mendel: Paragon of Experimental Science’, *Molecular Genetics & Genomic Medicine*, 4, 3 (2016).

(4) Mendel, G., *Experiments on Plant Hybrids* (1866), translation and commentary by Staffan Müller-Wille and Kersten Hall, British Society for the History of Science Translation Series (2016), http://www.bshs.org.uk/bshs-translations/mendel.

(5) Ibid.

(6) Dobzhansky, T., ‘Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution’, *American Biology Teacher*, 35, 125–9 (1973).

(7) Bergson, H., *Creative Evolution*, vol. 231 (University Press of America, 1911).

(8) Watson, J., *The Double Helix* (Weidenfeld & Nicolson, 2010). Maddox, B., *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA* (HarperCollins New York, 2002). Watson, J. D., Berry, A., and Davies, K., *DNA: The Story of the Genetic Revolution* (Knopf, 2017).

(9) Karafyllidis, I. G., 'Quantum Mechanical Model for Information Transfer From DNA to Protein', *Biosystems*, 93, 191–8 (2008).

(10) Dawkins, R., *The Selfish Gene* (Oxford University Press, 1976).

(11) Sherman, P. W., Jarvis, J. U., and Alexander, R. D., *The Biology of the Naked Mole-Rat* (Princeton University Press, 2017).

(12) Kim, E. B., et al., 'Genome Sequencing Reveals Insights Into Physiology and Longevity of the Naked Mole Rat', *Nature*, 479, 223–7 (2011).

(13) Meredith, R. W., Gatesy, J., Cheng, J., and Springer, M. S., 'Pseudogenization of the Tooth Gene Enamelysin (MMP20) in the Common Ancestor of Extant Baleen Whales', *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, rspb20101280 (2010).

(14) Zhao, H., Yang, J.-R., Xu, H., Zhang, J., 'Pseudogenization of the Umami Taste Receptor Gene Tas1r1 in the Giant Panda Coincided With Its Dietary Switch to Bamboo', *Molecular Biology and Evolution*, 27, 2669–73 (2010).

(15) Li, X., et al., 'Pseudogenization of a Sweet-Receptor Gene Accounts for Cats' Indifference Toward Sugar', *PLoS Genetics,* 1 (2005).

الفصل السادس عشر: هل عالَمُنا هو الأفضلُ في كل العوالم الممكنة؟

(1) Heisenberg, W., *Physics and Beyond: Encounters and Conversations* (1969) (HarperCollins, 1971).

(2) Gribbin, J., *Science: A History* (Penguin, 2003). Gribbin, J., *Schro dinger's Kittens: And the Search for Reality* (Weidenfeld & Nicolson, 2012). Rovelli, C., *The Order of Time* (Riverhead, 2019). Fara, P., *Science: A Four Thousand Year History* (Oxford University Press, 2010). Cox, B., and Forshaw, J., *Why Does $E = mc^2$?* (Da Capo, Boston, 2009). Al-Khalili, J., *The World According to Physics* (Princeton University Press, 2020). Green, B., *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (Penguin, 2004).

(3) Norton, J. D., 'Nature is the Realisation of the Simplest Conceiv able Mathematical Ideas: Einstein and the Canon of Mathematical Simplicity', *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31, 135–70 (2000).

(4) Ibid.

الفصل السابع عشر: كمٌّ من البساطة

(1) Betten, F. S., 'Review of: De Sacramento Altaris of William of Ockham by T. Bruce Birch', *Catholic Historical Review*, 20, 50–6 (1934).

(2) McFadden, J., *Quantum Evolution* (HarperCollins, 2000).

(3) Al-Khalili, J., and McFadden, J., *Life on the Edge: The Coming of Age of Quantum Biology* (Bantam Press, 2014).

(4) Tent, M. B. W., *Emmy Noether: The Mother of Modern Algebra* (CRC Press, 2008).

(5) Brewer, J. W., Noether, E., and Smith, M. K., *Emmy Noether: A Tribute to Her Life and Work* (Dekker, 1981).

(6) Arntzenius, F., *Space, Time, and Stuff* (Oxford University Press, 2014). Chen, E. K., 'An Intrinsic Theory of Quantum Mechanics: Progress in Field's Nominalistic Program, Part I' (Oxford University Press, 2014).

(7) Wigner, E. P., 'The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences', *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13, 001–014 (1960).

الفصل الثامن عشر: آلية عمل الشفرة

(1) Russell, B., *Our Knowledge of the External World* (Jovian Press, 2017).

(2) Bellhouse, D. R., 'The Reverend Thomas Bayes, FRS: A Biography to Celebrate the Tercentenary of His Birth', *Statistical Science*, 19, 3–43 (2004).

(3) Wilmott, J., *The Debt to Pleasure* (Carcanet, 2012).

(4) Jeffreys, H., *The Theory of Probability* (Oxford University Press, 1998).

(5) Gull, S. F., in *Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Science and Engineering*, 53–74 (Springer, 1988). Jefferys, W. H., and Berger, J. O., 'Sharpening Ockham's Razor on a Bayesian Strop', Technical Report (1991).

(6) Sober, E., *Ockham's Razors* (Cambridge University Press, 2015).

(7) Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions* (University of Chicago Press, 2012).

(8) Koestler, A., *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (Penguin, 2017).

(9) Feyerabend, P., *Against Method* (Verso, 1993).

(10) Kaye, S. M., and Martin, R. M., *On Ockham* (2001).

(11) Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*.

(12) Rorty, R., *Contingency, Irony, and Solidarity* (Cambridge University Press, 1989).

(13) Blaedel, N., *Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr* (Science Tech. Publ., 1988).

(14) Carey, N., *The Epigenetics Revolution: How Modern Biology is Rewriting Our Understanding of Genetics, Disease, and Inheritance* (Columbia University Press, 2012).

(15) Chater, N., and Vitányi, P., 'Simplicity: A Unifying Principle in Cognitive Science?', *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 19–22 (2003).

(16) Goodman, N., 'The Test of Simplicity', *Science*, 128, 1064–9 (1958).

الفصل التاسع عشر: هل عالَمنا هو الأبسط من بين كل العوالم الممكنة؟

(1) McCurdy, E., *The Notebooks of Leonardo da Vinci*, vol. 156 (G. Bra ziller, 1958).

(2) Fee, J., 'Maupertuis, and the Principle of Least Action', *Scientific Monthly*, 52, 496–503 (1941).

(3) Randall, L., and Reece, M., 'Dark Matter as a Trigger for Periodic Comet Impacts', *Physical Review Letters*, 112, 161301 (2014).

(4) Carroll, S., 'Painting Pictures of Astronomical Objects', *Discover*; https://www.discovermagazine.com/the-sciences/painting-pictures-of-astronomical-objects#.WcJ-s8ZJnIU.

(5) Rubin, V. C., and Ford Jr, W. K., 'Rotation of the Andromeda Nebula From a Spectroscopic Survey of Emission Regions', *Astrophysical Journal*, 159, 379 (1970).

(6) Oaknin, D. H., and Zhitnitsky, A., 'Baryon Asymmetry, Dark Matter, and Quantum Chromodynamics', *Physical Review D*, 71, 023519 (2005).

(7) Barrow, J. D., and Tipler, F. J., *The Anthropic Cosmological Principle* (Clarendon Press, 1986).

(8) Smolin, L., *The Life of the Cosmos* (Oxford University Press, 1999).

(9) Smolin, L., *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe* (Houghton Mifflin Harcourt, 2013).

(10) Lloyd, S., *Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos* (Knopf, 2006).

(11) Vilenkin, A., ‘Creation of Universes from Nothing’, *Physics Letters B*, 117, 25–8 (1982).

(12) Dennett, D. C., ‘Darwin’s Dangerous Idea’, *Sciences*, 35, 34–40 (1995). Epilogue

خاتمة

(1) Spade, P. V., *The Cambridge Companion to Ockham* (Cambridge University Press, 1999). Riezler, S., *Vatikanische Akten Zur Deutschen Geschichte in Der Zeit Kaiser Ludwigs Des Bayern* (Wentworth Press, 2018).

(2) Hoffmann, R., Minkin, V. I., and Carpenter, B. K., ‘Ockham’s Razor and Chemistry’, *Bulletin de la Société chimique de France*, 2, 117–30 (1996).

(3) Wheeler, J. A., ‘How Come the Quantum?’, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 480, 304–16 (1986).

مصادر الصور

Figure (1): Gado Images/Alamy Stock Photo.

Figure (2): NASA/WMAP Science Team WMAP # 121238.

Figure (1-2): Mars motion 2018.png/Tomruen/Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

Figures (3-1), (8-2) and (12-1): Granger Historical Picture Archive/Alamy Stock Photo.

Figure (8-1): Classic Image/Alamy Stock Photo.

Figures (8-4) below and (13-5): Interfoto/Alamy Stock Image.

Figure (13-1): Louis Fibuler, *Ocean World: Being a Descriptive History of the Sea and its Living Inhabitants*, 1868, Plate XXVII. Image courtesy of Freshwater and Marine Image Bank/University of Washington Libraries.

Figure (13-2): Paulo Oliveira/Alamy Stock Photo.

Figure (13-3): Jacob van Maerlant, *Der Naturen Bloeme*, c.1350, photo Darling Archive/Alamy Stock Photo.

Figure (14-1): The Natural History Museum/Alamy Stock Photo.

Figure (14-2): Various ammonite fossils illustrating Hooke's discourse on Earthquakes. Wellcome Collection/Q5QW2R83. Creative Commons Attribution licence 4.0 International (CC BY 4.0).

Figure (14–3): Henry Walter Bates, *The Naturalist on the River Amazon*, vol. 1, 1863, Frontispiece.

Figure (14–4): Andrew Wood/Alamy Stock Photos.

Figure (15–2): Naked mole rat–National Museum of Nature and Science.jpg Momotarou2012/Creative Commons Attribution–ShareAlike 3.0 Unported (CC BY–SA 3.0).

Figure (16–2): courtesy Dr G. Breitenbach.

Figure (17–1): Ian Dagnall Computing/Alamy Stock Photo.

Figures (17–2) and (20–1): Author's collection.

Figure (18–1): Shutterstock.com (six–sided dice); D60 60men–saiko ro.jpg/Saharasav/Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY–SA 4.0) (sixty–sided dice).

Figures (1–1), (1–3), (5–1), (6–1), (7–1), (8–3), (8–4) above, (8–5), (8–6), (9–1), (9–2), (10–1), (10–2), (10–3), (13–4), (15–1), (16–1), (17–3), (18–2), (19–1) and (19–2) drawn by Penny Amerena.


هنداوي